



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Παρακολούθηση και διαχείριση έξυπνων κτιρίων με χρήση ετερογενών ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων

Αμαξηλάτης Δημήτριος ΑΜ: 803

Επιβλέπων: Δρ. Πάυλος Σπυράκης

Συνεπιβλέπων: Δρ. Ιωάννης Χατζηγιαννάκης

Τριμελής επιτροπή :
Δρ. Πάυλος Σπυράκης
Δρ. Χρήστος Κακλαμάνης
Δρ. Σωτήρης Νικολετσέας

Πάτρα, 10 Σεπτεμβρίου 2013

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η εγκατάσταση και λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και διαχείρισης έξυπνων κτιρίων με χρήση ετερογενών ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Οι συγκεκριμένες συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως απλοί αισθητήρες είτε ως ελεγκτές συσκευών, με χρήση ασύρματης επικοινωνίας και state-of-the-art τεχνολογιών του Διαδικτύου των Συσκευών που διευκολύνουν την αλληλεπίδραση με αυτές αλλά και την εννοποίησή τους με διαδυκτιακές εφαρμογές. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής, εστιάζουμε αρχικά στην υλοποίηση του πρωτοκόλλου CoAP που προσφέρει τις δυνατότητες ελέγχου και αίσθησης μέσω της ασύρματης επικοινωνίας των συσκευών με ένα δομημένο και κοινά κατανοητό τρόπο. Προτείνουμε επίσης, μια ένα συγκεκριμένου συστήματος το οποίο προσφέρει κεντρικά τις υπηρεσίες των ασύρματων αισθητήρων για την διευκόλυνση της αναζήτησης συσκευών και χαρακτηριστικών όπως και την δυνατότητα κεντρικής διαχείρισης των συσκευών. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι ανεξάρτητο από τις συσκευές που χρησιμοποιούνται (platform & hardware independent) καθώς οι λειτουργίες και τα δεδομένα παρέχονται με δομημένο τρόπο με την χρήση RESTful Web Services. Για την μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος αναπτύχθηκαν ολοκληρωμένες εφαρμογές οι οποίες αποδικνύουν την ευκολία χρήσης των δεδομένων που προέρχονται από τις συσκευές και αλληλεπίδρασης με αυτές. Κάθε μία από αυτές υλοποιήθηκε με χρήση διαφορετικών τεχνολογιών όπως HTML5, Android, Microsoft Windows 8 και On{x}, αλλά και διαφορετικές συσκευές αισθητήρων και συγκεκριμένα iSense, Arduino, TelosB και XBee.

Abstract

Within the scope of this MSc dissertation, we present the design and implementation of pervasive applications on top of heterogeneous wireless sensor network environment. The wireless communication between heterogeneous devices is an inherently difficult research problem due to fundamental differences in system architecture, properties and capabilities of these devices. Initially, our research focused on the identification of the problems related to the intercommunication among the devices of a heterogeneous wireless sensor network. As a solution, we propose a new abstract system that provides the key qualities needed for a successful pervasive system; expandability, scalability and performance. The new architecture achieves interoperability among the devices by introducing abstraction in the communication protocols (MAC, Transport and Application Layers). In order to demonstrate the applicability of our system we include various representative use case scenarios, that illustrate the usage of our infrastructure. Each scenario focuses on different properties of the system and uses a combination of devices such as iSense, Arduino, SunSPOT, TelosB and XBee.

Δημοσιεύσεις

Georgitzikis, Vasileios and Amaxilatis, Dimitrios, **Using Codebender and Arduino in Science and Education**, chapter in the book "System-Level Design Methodologies for Telecommunication", Springer International Publishing, ISBN 9783319006628, 2013.

Akribopoulos Orestis, Amaxilatis Dimitrios, Dimakopolos Dimitrios and Chatzigiannakis Ioannis, **Smart Energy Monitoring and Management in Large Multi-Office Building Environments**, PCI'13, Thessaloniki, Greece, 2013.

Amaxilatis, Dimitrios, Oikonomou, Georgios and Chatzigiannakis, Ioannis, **Adaptive Neighbor Discovery for Mobile and Low Power Wireless Sensor Networks**, MSWiM'12, Paphos, Cyprus, 2012.

Amaxilatis, Dimitrios, Georgitzikis, Vasileios, Giannakopoulos, Dimitrios and Chatzigiannakis, Ioannis, **Employing Internet of Things Technologies for Building Automation**, ETFA'12, Poland, 2012.

Akribopoulos, Orestis, Amaxilatis, Dimitrios and Chatzigiannakis, Ioannis, **Towards integrating IoT devices with the Web**, ETFA'12, Poland, 2012. 2011

Akribopoulos, Orestis, Amaxilatis, Dimitrios, Chatzigiannakis, Ioannis, Georgitzikis, Vasileios and Logaras, Marios, **Distributed Self-organized Societies in Action**, chapter in the book "Distributed Self-organized Societies of Tiny Artefacts: Design & Implementation", Lulu Publishers, ISBN 5800059245538, 2011.

Amaxilatis, Dimitrios, Dolev, Shlomi and Koninis, Christos, **Adaptable Network Infrastructure**, chapter in the book "Distributed Self-organized Societies of Tiny Artefacts: Design & Implementation", Lulu Publishers, ISBN 5800059245538, 2011. 2010

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, και επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Πάυλο Σπυράκη που με τίμησε με την συνεργασία του και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στον Δρ. Ιωάννη Χατζηγιαννάκη, για την φιλική συμπαράσταση και καθοδήγηση του καθ'όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Η ουσιαστική επικοινωνία και η καθημερινή συνεργασία μου μαζί του, με βοήθησαν στην ανάπτυξη ώριμου τρόπου σκέψης και αποδοτικού και αποτελεσματικού τρόπου δράσης. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους Ορέστη Ακριβόπουλο, Βασίλη Γεωργιτζίκη, Lidia Bash, Δημήτρη Γιαννακόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια τους κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μου.

Περιεχόμενα

I	Εισαγωγή	13
1.	Εισαγωγή	15
1.1	Κίνητρο και σημασία του θέματος	15
1.2	Στόχοι της διπλωματικής εργασίας	17
1.3	Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας	17
1.4	Δομή της διπλωματικής εργασίας	17
2.	Αρχιτεκτονική του Συστήματος	19
2.1	Συνολική επισκόπηση του συστήματος	20
2.2	Παραδείγματα Χρήσης του Συστήματος	24
2.2.1	Sleep Modes	24
2.2.2	Ανάλυση ενεργειακής απόδοσης Οντοτήτων	27
2.2.3	Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδο συσκευών	28
2.3	Χρησιμοποιούμενες Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα	29
2.3.1	Wiselib	29
2.3.2	CoAP	30
2.3.3	MQTT	30
2.3.4	RESTful Web Services	30
2.3.5	Blockly	31
II	Επίπεδα Συστήματος	33
3.	Ετερογενές Δίκτυο Αισθητήρων και Ελεγκτών	35
3.1	Συσκευές	35
3.1.1	iSense	35
3.1.2	Arduino	36
3.2	Συνδεσιμότητα και Δια-λειτουργικότητα Συσκευών	37
3.2.1	Συμβατότητα σε επίπεδο 802.15.4 MAC	37
3.2.2	Πρωτόκολλο Συσκευών Περιορισμένων Δυνατοτήτων (CoAP)	38
3.2.3	Δρομολόγηση δεδομένων σε επίπεδο συσκευών	42
3.3	Συλλογή Δεδομένων μέσω συσκευών Gateways	43

4. Σύστημα διαχείρισης Δεδομένων σε επίπεδο Web	47
4.1 Αποδοτική Αποθήκευση Δεδομένων – Wisedb	47
4.1.1 Formatters	50
4.2 Παρουσίαση των μετρήσεων	50
4.2.1 RESTful διεπαφή	50
4.2.2 WebSockets	52
4.3 Εμπλουτισμός δεδομένων με RDF	53
4.4 Σημασιολογικές οντότητες σε επίπεδο συστήματος	56
4.4.1 Λανθάνουσα μνήμη	57
5. Εφαρμογές Χρηστών και Παρουσίαση Δεδομένων	59
5.1 Εφαρμογές Αυτοματισμών	59
5.1.1 Συνδεσιμότητα	60
5.1.2 Δομή Εφαρμογών	60
5.2 Mobile Εφαρμογές	61
5.2.1 Συνδεσιμότητα	62
5.2.2 Δομή Εφαρμογών	62
5.3 Web Frontend	63
5.3.1 Συνδεσιμότητα	64
5.3.2 Παρουσίαση Δεδομένων	64
5.4 Μικρο-εφαρμογές	65
III Αξιολόγηση και Συμπεράσματα	69
6. Αξιολόγηση	71
7. Συμπεράσματα	73

Μέρος Ι

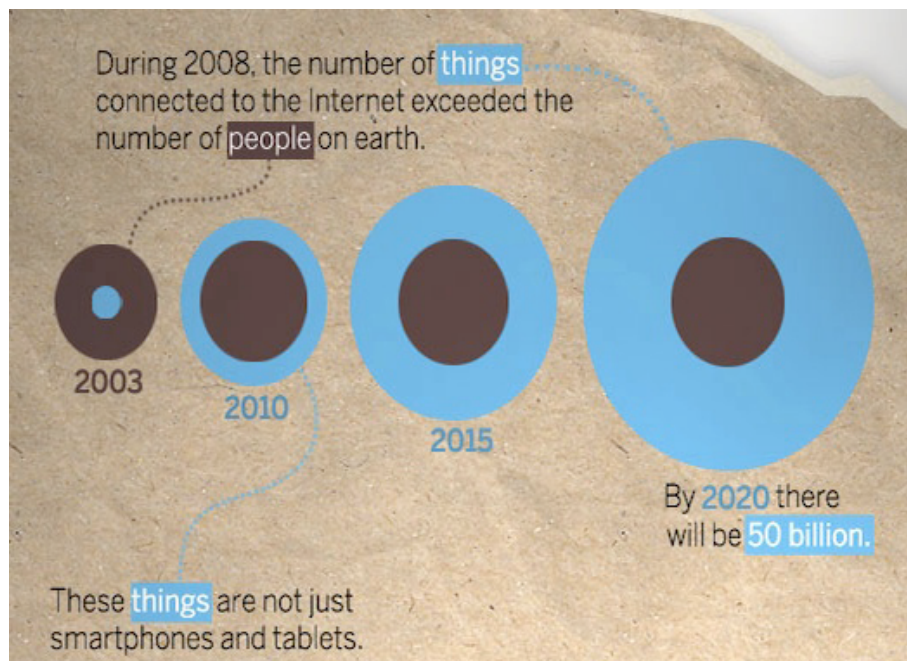
Εισαγωγή

1. Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο και σημασία του θέματος

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση των συσκευών που σχετίζονται με τις καθημερινές μας ανάγκες και συνδέονται μέσω διάφορων μεθόδων επικοινωνίας με το Διαδίκτυο. Κινητά τηλέφωνα, οικιακές συσκευές, ηλεκτρονικοί υπολογιστές και μικροελεγκτές χαμηλού κόστους δημιουργούν διαφορετικά συστήματα με διαφορετικές δυνατότητες, διαφορετικές απαιτήσεις και διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η διασύνδεση αυτών των ετερογενών συστημάτων παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις και δεν είναι μια αυτόματη διαδικασία. Όραμα όλων όσων ασχολούνται με αυτές τις τεχνολογίες είναι η δημιουργία του Web of Things, ενός ιστού στον όλες οι έξυπνες συσκευές και αντικείμενα (Smart Objects) που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή και είναι ένα απλό μέρος του World Wide Web. Όλα τα έξυπνα αντικείμενα θα είναι συνδεδεμένα μέσω ανοιχτών πρωτοκόλλων, προσφέροντάς άμεση και εύκολη πρόσβαση στα δεδομένα που προσφέρουν, με στόχο την βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των ανθρώπων αλλά και την καλύτερη συνύπαρξη του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρει και η Cisco στο The Internet of Things infographic¹ (Σχήμα 1.1) όταν αναφερόμαστε το Διαδίκτυο, σκεφτόμαστε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τηλέφωνα, και πρόσφατα tablets. Αντίθετα από το 2008, ο αριθμός των συσκευών που ήταν συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο υπερέβαινε αυτόν των ανθρώπων στη Γη. Υπάρχουν δηλαδή περισσότερες συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο από ανθρώπους για να τις χρησιμοποιήσουν με μια ξεκάθαρη τάση αυτός ο αριθμός να εκτιναχθεί στο άμεσο μέλλον. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων με τα οποία αποτελούν αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι ένα βασικό παράδειγμα ενός τέτοιου περιβάλλοντος. Τυπικές εφαρμογές των δικτύων αποτελούν οι εγκαταστάσεις παρακολούθησης του φυσικού, βιομηχανικού και οικιακού περιβάλλοντος καθώς και οι αυτοματισμού κτιρίων και λειτουργιών με στόχο τον περιορισμό της σπατάλης ενέργειας από αυτά. Βασικό μέρος αυτών των δικτύων είναι οι actuators (ενεργοποιητές) με τους οποίους επιτυγχάνουμε τον απομακρυσμένο ή ακόμη και αυτοματοποιημένο

¹<http://blogs.cisco.com/diversity/the-internet-of-things-infographic/>



Σχήμα 1.1: The Cisco Infographic.

έλεγχο συσκευών και συστημάτων. Ωστόσο βασική απαίτηση για την καλύτερη λειτουργία αυτού του συστήματος είναι ο διαφανής και ομοιόμορφος τρόπος αλληλεπίδρασης με όλα τα αντικείμενα του περιβάλλοντος. Τα μέχρι σήμερα υλοποιημένα συστήματα όμως, είτε κάνουν περιορισμένη χρήση αισθητήρων είτε είναι μεταξύ τους. Η προσπάθεια απόκρυψης της ύπαρξης διαφορετικών συστημάτων και η παροχή ενός απλοποιημένου φαινομενικά συστήματος στους τελικούς χρήστες υλοποιεί κατά βάση την ιδέα ενός διάχυτου υπερ-συστήματος. Η ανάπτυξη λογισμικού για τέτοια συστήματα παρουσιάζει πολλές προκλήσεις. Η επικοινωνία διαφορετικών συσκευών μέσω διαφορετικών καναλιών, η αποθήκευση δεδομένων και αντικειμένων καθώς και ένα κοινό μοντέλο αρχιτεκτονικής αποτελούν τις σημαντικότερες από αυτές. Στην διπλωματική εργασία μελετάται ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η εγκατάσταση και λειτουργία ενός συστήματος διαχείρισης, παρακολούθησης και διαμοιρασμού των δεδομένων που προέρχονται από ένα τέτοιο δίκτυο συσκευών καθώς και η υλοποίηση ολοκληρωμένων εφαρμογών με χρήση Ετερογενών Ασύρματων Αισθητήρων. Οι συγκεκριμένες συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν ως απλοί αισθητήρες αλλά και ως ελεγκτές ή ενεργοποιητές. Η ασύρματη επικοινωνία ετερογενών συσκευών σε ένα διάχυτο σύστημα παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα καθώς χρησιμοποιούνται συσκευές με εντελώς διαφορετική αρχιτεκτονική, διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές δυνατότητες όσον αφορά της τεχνολογίες που υποστηρίζουν για την υλοποίηση εφαρμογών σε αυτές.

1.2 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής, εστιάζουμε αρχικά στην υλοποίηση ενός αποδοτικού πρωτοκόλλου ασύρματης επικοινωνίας για συσκευές με περιορισμένες δυνατότητες υπολογισμού καθώς και των απαιτούμενων βοηθητικών δομών για την υποστήριξη δικτύων μεγάλης έκτασης. Στην συνέχεια εστιάζουμε στην υλοποίηση μιας εφαρμογής σε επίπεδο διαδικτύου που προσφέρει με αποδοτικό τρόπο πρόσβαση στις πληροφορίες που προέρχονται από πολλαπλά δίκτυα αισθητήρων μέσω τεχνολογιών που υψηλές επιδόσεις με μικρές υπολογιστικές απαιτήσεις. Ο ρόλος αυτού του συστήματος είναι η κατά το δυνατόν ευκολότερη πρόσβαση στις πληροφορίες που έχουν αποθηκευτεί αλλά και η απλούστευση της διαδικασίας υλοποίησης εφαρμογών που συνδέονται και αλληλεπιδρούν με τις εγκατεστημένες συσκευές. Για την μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος αναπτύσσονται συγκεκριμένες ολοκληρωμένες εφαρμογές οι οποίες παρουσιάζουν τις δυνατότητες του. Κάθε μια από αυτές έχουν υλοποιηθεί σε μια διαφορετική πλατφόρμα που γνωρίζει μεγάλη άνθηση στα τελευταία χρόνια.

1.3 Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετάται σε βάθος το πρωτόκολλο CoAP το οποίο είναι πρωτόκολλο που έχει ως στόχο την απλούστευση της επικοινωνίας ανάμεσα σε συσκευές ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Εντοπίστηκαν οι περιορισμοί που επιβάλλονται λόγω των περιορισμών στην υπολογιστική ισχύ των συσκευών που χρησιμοποιούνται (iSense, Arduino, TelosB και Xbee) καθώς και θέματα επικοινωνίας και δρομολόγησης πακέτων δίκτυα αισθητήρων. Επίσης μελετήθηκαν εις βάθος οι τεχνολογίες Hibernate, Spring και ο τρόπος σχεδιασμού και ανάπτυξης διαδικτυακών εφαρμογών με χρήση αυτών για την κατασκευή RESTful Web Services και Distributed Εφαρμογών.

1.4 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία χωρίζεται σε πέντε θεματικές ενότητες. Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει την εισαγωγή της διπλωματικής, όπου αναφέρονται η χρησιμότητα της διπλωματικής, το κίνητρο ενασχόλησης με το συγκεκριμένο θέμα καθώς και η σημασία του θέματος, οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας και η συνεισφορά της, και τέλος η δομή της. Στο δεύτερο μέρος γίνεται η παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Παρουσιάζονται και απαντώνται οι λόγοι που δεν επιτρέπουν την άμεση επικοινωνία με συσκευές ασύρματων

δικτύων και επιβάλλουν την χρήση συστημάτων που επιτρέπουν την έμμεση αλληλεπίδραση αλλά και τις απαιτήσεις για τη διασύνδεση των υπόλοιπων επιπέδων του συστήματος. Το τρίτο μέρος ασχολείται με την επικοινωνία στο επίπεδο των συσκευών αλλά και την υλοποίηση της ειδικής συσκευής που προσφέρει την διασύνδεση ανάμεσα στις ασύρματες συσκευές και το Διαδίκτυο. Το τέταρτο μέρος περιγράφει την υλοποίηση της εφαρμογής που παρουσιάζει, διατηρεί και προσφέρει τα δεδομένα στο διαδίκτυο. Το πέμπτο μέρος περιγράφει παραδείγματα εφαρμογών που υλοποιήθηκαν με χρήση των υπηρεσιών που υλοποιήθηκαν. Στο τελευταίο μέρος καταγράφονται τα συμπεράσματα και ο απολογισμός της συγγραφής της διπλωματικής καθώς επίσης και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2. Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Η κλιματική αλλαγή και η ανάγκη περιορισμού της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων έχει οδηγήσει οργανισμούς και κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο στην υιοθέτηση προγραμμάτων και πρακτικών για τον εξοικονόμηση ενέργειας. Τέτοιες πρακτικές μπορούν να εκτιμηθούν όχι μόνο ως μια αναγκαία λύση αλλά και ως μια ευκαιρία για οικονομική ανάπτυξη [18, 19]. Τέτοια προγράμματα αρχικά χρησιμοποιούσαν παραδοσιακά κανάλια επικοινωνίας για να προωθήσουν τους στόχους τους (όπως τα MME) για να πείσουν τους καταναλωτές να ακολουθήσουν ένα πιο περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο ζωής. Οι πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες δικτύων ασύρματων αισθητήρων ωστόσο έχουν εμφανίσει ένα μεγάλο αριθμό εναλλακτικών κατευθύνσεων στους τομείς των Αυτοματισμών Κτιρίων και της Εξοικονόμησης Ενέργειας. Τα Δίκτυα Αισθητήρων αποτελούνται από εκατοντάδες ή και χιλιάδες μικρές αυτόνομες συσκευές εξοπλισμένες με διάφορα αισθητήρια όργανα ή ελεγκτές για να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους. Τέτοιες συσκευές επικοινωνούν και ανταλλάσσουν πληροφορίες με χρήση πομπών χαμηλής ενέργειας ή σε μερικές περιπτώσεις και Ethernet ή WiFi συνδέσεις. Εξαιτίας του χαμηλού τους μεγέθους, των χαμηλών απαιτήσεων σε ενέργεια αλλά και του εύρωστου τρόπου λειτουργίας τους μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε σημείο στο εσωτερικό ή ακόμα και στο εξωτερικό κτιρίων. Ακόμη μπορούν να λειτουργήσουν με χρήση μικρών πηγών ενέργειας για μεγάλες χρονικές περιόδους και να συνδεθούν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να πετύχουν την ενεργειακή τους αυτονομία. Επιπροσθέτως, η δομή των δικτύων ασύρματων αισθητήρων τα καθιστά ιδανικά για την δημιουργία προσαρμοζόμενων συστημάτων στα οποία απαιτείται ελάχιστη συμμετοχή του ανθρώπου πέραν της εγκατάστασής τους. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα κάνουν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εξαιρετικά δημοφιλή σε εγκαταστάσεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά [20] όπως την περιβαλλοντική παρακολούθηση, την παρακολούθηση αγρίων ζώων [8], μέχρι τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις [10], τις διαδραστικές καλλιτεχνικές εκθέσεις [7] και τον έξυπνο αυτοματισμό κτιρίων [17, 11].

Παρά τα όσα αναφέρθηκαν πριν, δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο το πως αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν να εξελιχθούν σε μέγεθος για να προσφερθούν υψηλού

επιπέδου υπηρεσίες που επεκτείνονται σε συγκροτήματα κτιρίων και οργανισμών.

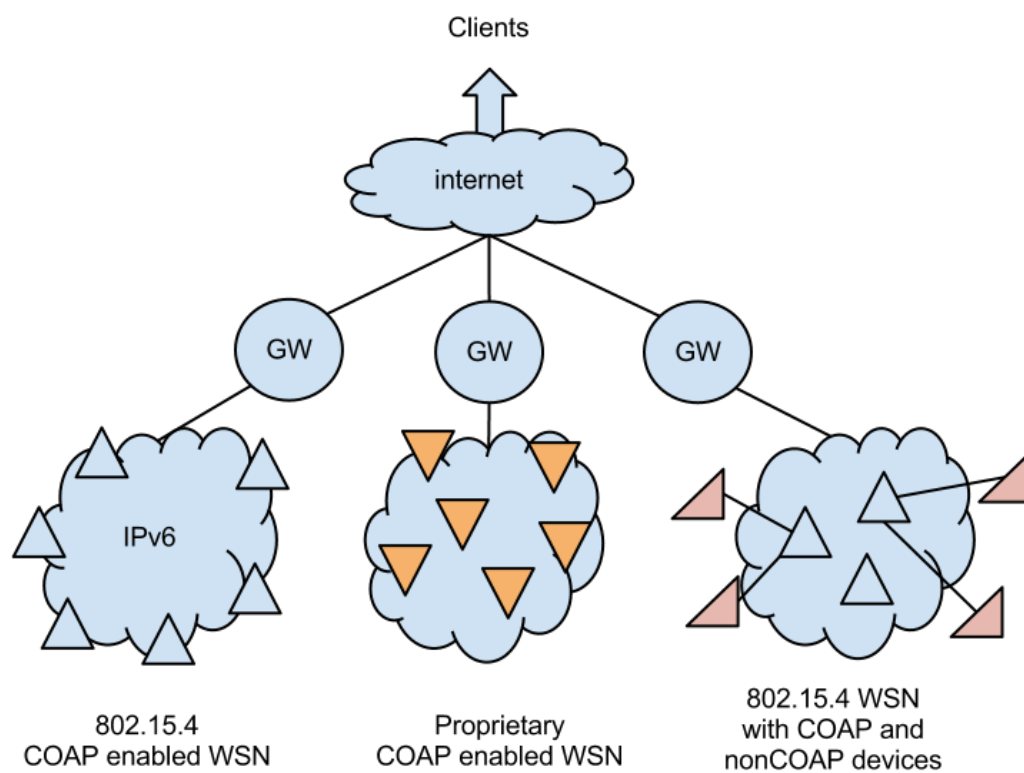
Στην συνέχεια αυτής της διπλωματικής εργασίας θα παρουσιαστεί ένα σύστημα όπου οι πληροφορίες που συλλέγονται από τα εγκατεστημένα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να γίνουν με αποδοτικό τρόπο διαθέσιμα στους χρήστες και στους προγραμματιστές μέσω συγχρόνων τεχνολογιών του διαδικτύου προσφέροντας πολύπλευρες οπτικές στην πληροφορία που παρέχεται από τα έξυπνα συστήματα αυτοματισμών κτιρίων που μπορούν να χτιστούν ως επέκτασή του. Το Überdust, είναι ένα σύστημα το οποίο έχει ως στόχο να κρύψει όλες τις λεπτομέρειες που σχετίζονται με τον περίπλοκο χώρο των συσκευών αισθητήρων και να προσφέρει αποδοτικά την καθαρή πληροφορία στους χρήστες με απλό και κατανοητό τρόπο. Επίσης δείχνουμε πως το σύστημα αυτό είναι εγκατεστημένο και λειτουργεί δεχόμενο πληροφορίες από ένα μεγάλο αριθμό συσκευών σε διαφορετικές εγκαταστάσεις όπως μεταξύ άλλων το κτίριο του Computer Technology Institute “Diophantus”¹ (CTI) στην Πάτρα αλλά και τις εγκατεστημένες συσκευές στους δρόμους της πόλης Santander (ως μέρος του προγράμματος SMARTSANTANDER² της ΕΕ).

2.1 Συνολική επισκόπηση του συστήματος

Η υλοποίηση του συστήματος έγινε σε 3 επίπεδα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Το πρώτο και πιο σημαντικό επίπεδο είναι το Δίκτυο Αισθητήρων και Ελεγκτών. Όλες οι συσκευές του δικτύου είναι εξοπλισμένες με ένα αριθμό αισθητήρων ή και ελεγκτών συσκευών (όπως συστήματα φωτισμού, κλιματισμού ή αυτοματισμούς κήπου και εξωτερικών χώρων). Σε αυτό τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζονται και καλούμαστε να λύσουμε είναι η ασυμβατότητα μεταξύ συσκευών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές τόσο σε επίπεδο λειτουργίας και τοποθέτησης όσο και σε επίπεδα επικοινωνίας (ενσύρματη ή ασύρματη, *IEEE 802.15.4* ή *ZigBee*, *Ethernet* και *WiFi*). Συγκεκριμένα για συστήματα παρακολούθησης καιρικών συνθηκών μπορούμε να βρούμε πολύ εύκολα λύσεις οι οποίες προσφέρουν πληροφορίες μέσω WiFi interfaces ή web apis, ασύρματα ή ενσύρματα (μέσω Ethernet ή και OneWire συνδέσεις) για να είναι όσο το δυνατόν ευκολότερη η τοποθέτησή τους σε δυσπρόσιτες περιοχές όπως εξωτερικούς χώρους (ταράτσες ή σκεπές κτιρίων). Επίσης είναι σημαντικό να επισημάνουμε πως στην μεγάλη πλειοψηφία τους οι συσκευές αυτές έχουν σημαντικά περιορισμένες υπολογιστικές δυνατότητες (8bit επεξεργαστές ή 32KB διαθέσιμη μνήμη) καθώς και τις περιπτώσεις συσκευών που λειτουργούν με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπως ηλιακούς συλλέκτες) και συνεπώς δεν είναι δυνατόν να λειτουργούν στο 100% των δυνατοτήτων τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Όλες αυ-

¹<http://www.cti.gr>

²<http://www.smartsantander.eu/>



Σχήμα 2.1: 3 κατηγορίες δικτύων ασύρματων συσκευών με διαφορετικές δυνατότητες.

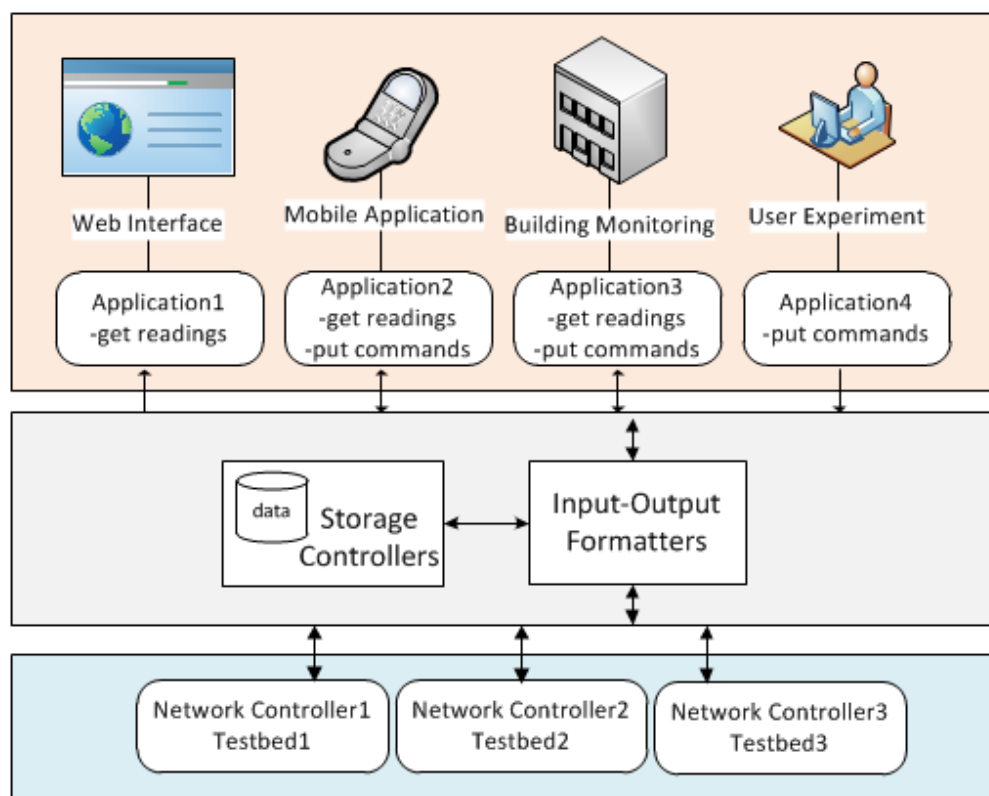
τές οι παραπάνω ιδιαιτερότητες κατηγοριοποιούνται σε 3 διαφορετικές περιπτώσεις:

- Συσκευές στις οποίες δεν είναι δυνατόν να επέμβουμε και να τροποποιήσουμε το λογισμικό τους.
- Συσκευές τις οποίες μπορούμε να προγραμματίσουμε έτσι ώστε να τροποποιήσουμε το πρωτόκολλο επικοινωνίας τους.
- Συσκευές με περισσότερες υπολογιστικές δυνατότητες, τις οποίες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε κεντρικά σημεία του συστήματος που κατασκευάζουμε.

Το δεύτερο επίπεδο του συστήματός μας αποτελεί ένα κεντρικό σημείο επικοινωνίας ανάμεσα στους χρήστες και τις έξυπνες συσκευές του δικτύου μας και αποτελεί ένα κεντρικό αποθετήριο το οποίο διευκολύνει την επικοινωνία και προς τις δυο κατευθύνσεις ενώ ταυτόχρονα μειώνει τον όγκο επικοινωνίας και συνεπώς τον φόρτο εργασίας κυρίως στις έξυπνες του δικτύου. Συγκεκριμένα, αποτελείται από μια βάση αποδοτικής αποθήκευσης των περιγραφών και καταστάσεων των συσκευών ανά τακτά χρονικά διαστήματα για την παροχή πιο άμεσων απαντήσεων σε ερωτήματα πελατών (πχ. εφαρμογών, φυλλομετρητών ιστού). Επίσης, το ενδιαμέσο αυτό σύστημα είναι υπεύθυνο για την παροχή υπηρεσιών μετάφρασης και προσαρμοσμένης επικοινωνίας με όλες τις έξυπνες συσκευές που βρίσκονται συνδεδεμένες κάτω από τις υπηρεσίες του και αναλαμβάνει να προσφέρει με ένα τυποποιημένο τρόπο τα δεδομένα του (RESTful Web Services, WebSockets). Επιπρόσθετα, καθώς αποτελεί ένα κεντρικό σημείο εισόδου στο σύστημα μπορεί να παρέχει όλες τις υπάρχουσες υπηρεσίες ασφαλείας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής (user authentication, encrypted communication) για την διασφάλιση των προσφερόμενων δεδομένων και υπηρεσιών. Τέλος, καθώς αυτό το κομμάτι του συστήματός μας έχει όλες τις διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους μπορεί να προσφέρει επιπρόσθετες υπηρεσίες όπως σημασιολογικό εμπλουτισμό των διαθέσιμων δεδομένων με εξωτερικά δεδομένα (LOD cloud), σημασιολογική αναζήτηση, ομαδοποίηση συσκευών και αισθητήρων για την κατασκευή οντοτήτων που είναι ευκολότερα διαχειρίσιμες στο επίπεδο εφαρμογών του διαδικτύου.

Το ανώτερο επίπεδο του συστήματός μας είναι το επίπεδο του χρήστη και των εφαρμογών. Στο επίπεδο αυτό είναι δυνατόν με χρήση εύκολων προγραμματιστικών μεθόδων και τεχνικών (JavaScript ή PHP, HTML5 ιστοσελίδων) να κατασκευάσουμε μέσα σε ελάχιστο χρόνο εφαρμογές και επεκτάσεις στον τρόπο λειτουργίας των συσκευών του περιβάλλοντός τους.

Το Σχήμα 2.2 προσφέρει μια γραφική απεικόνιση των υπο-συστημάτων που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Συγκεκριμένα, στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκονται ένα ή περισσότερα Testbeds (εγκαταστάσεις) τα οποία είναι προσβάσιμα μέσω ενός ή περισσότερων Ελεγκτών Δικτύου. Οι ελεγκτές δικτύου είναι συσκευές

**Σχήμα 2.2:** High Level Architecture

οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με τις συσκευές της εγκατάστασης όπως αναφέρθηκε πριν για να προσπεράσουμε περιπτώσεις όπως ιδιωτικά δίκτυα τα οποία δεν επιτρέπουν την άμεση επικοινωνία με τις συσκευές (πχ. μέσω IPv6). Στο ενδιάμεσο επίπεδο βρίσκεται το Überdust. Το σύστημα το οποίο είναι το κέντρο συντονισμού και έλεγχου όλων των δικτύων συσκευών και της επικοινωνίας με τις εφαρμογές πελάτες. Τέλος στο υψηλότερο επίπεδο βρίσκονται παραδείγματα εφαρμογών που έχουν αναπτυχθεί με χρήση των υπηρεσιών που προσφέρει το σύστημα Überdust. Τέτοια παραδείγματα είναι:

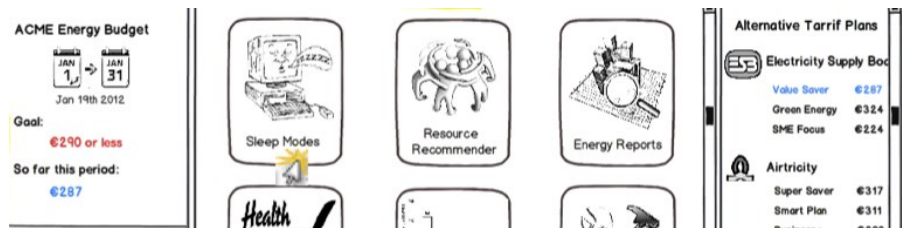
- Εφαρμογές αυτοματισμών κτιρίων (Ενότητα 5.1)
- Εφαρμογές έξυπνων κινητών (Ενότητα 5.2)
- Web Interfaces (Ενότητα 5.3)
- Πειράματα για επιστημονικούς και επιχειρηματικούς σκοπούς χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που προέρχονται από τις συσκευές για αναζήτηση βέλτιστων τεχνικών χρήσης και λειτουργίας.

Συγκεκριμένα, με χρήση των κατάλληλων διεπαφών του συστήματος μπορούν να αναζητηθούν εύκολα και γρήγορα συσκευές και οντότητες που πληρούν συγκεκριμένες συνθήκες όπως:

- Χρήση Δωματίων, Γραφείων ή ακόμη και Κτιρίων.
- Ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας σε Γραφεία ή Δωμάτια για την λήψη μέτρων περιορισμού της κατανάλωσης.
- Ανάλυση της κατανάλωσης σε επίπεδο συσκευής για την διάγνωση προβλημάτων.

2.2 Παραδείγματα Χρήσης του Συστήματος

2.2.1 Sleep Modes



Σχήμα 2.3: Διεπαφή διαχειριστή του IBAS

Πρόκειται για την πιο συχνή εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης κτιρίων και αυτοματισμού. Ανεξάρτητα δωμάτια, γραφεία, ή ακόμη και ολόκληρα κτίρια μπορούν να μπουν σε μια κατάσταση "ύπνωσης" για να εξοικονομήσουν ενέργεια για το χρονικό διάστημα στο οποίο δεν χρησιμοποιούνται. Αυτή η συμπεριφορά δεν επηρεάζει την λειτουργία του κτιρίου και την κίνηση των ανθρώπων σε αυτό καθώς οι ανάγκες για επικοινωνία, φωτισμό και θέρμανση ή ψύξη παύουν να υπάρχουν ή περιορίζονται σημαντικά για την περίοδο της απουσίας των ενοίκων.

Οι οντότητες που περιγράφουν τα φυσικά αντικείμενα σε διαφορετικά επίπεδα (π.χ., Γραφεία ή Πάγκοι Εργασίας) μπορούν να προσφέρουν αποδοτικά την απαιτούμενη πληροφορία για να επιβληθεί μια κατάσταση "ύπνωσης". Όσο περισσότερα αντικείμενα μπορούν να τεθούν σε μια τέτοια κατάσταση (ο βαθμός της οποίας μπορεί και πάλι να διαφέρει ανά περίπτωση) τόσο μεγαλύτερη θα είναι τελικά η εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιτευχθεί. Φωτισμός, θέρμανση και κλιματισμός είναι οι άμεσες και προτεραιότητες αλλά οι ενέργειες μπορούν να επεκταθούν και σε συγκεκριμένες συσκευές όπως οθόνες υπολογιστών και εκτυπωτές.

Οι αποφάσεις για το κατά πόσον ένας χώρος-οντότητα θα τεθεί ή θα "ξυπνήσει" από μια τέτοια κατάσταση όπως και η απόφαση για την ένταση αυτής γίνονται κάτω από την ύπαρξη μερικής γνώσης για την πραγματική κατάσταση που επικρατεί καθώς λαμβάνονται πληροφορίες και ειδοποιήσεις από πολλαπλές συσκευές και πηγές.

Επιπλέον μπορεί να υλοποιηθεί ένα απλό σύστημα εξαγωγής αποφάσεων που να βασίζεται σε 2 τμήματα πληροφορίας πριν να αποφασίσει για την ενεργοποίηση ή όχι κάποιας οντότητας:

- Εάν η οντότητα έχει ενημερώσει ότι δεν χρησιμοποιείται (δεν υπάρχει κάποιος στον χώρο) και κάποιο εξωτερικό σύστημα κρατήσεων υποδεικνύει ότι ο χώρος δεν έχει δεσμευθεί για κάποια συνάντηση τότε ο χώρος απενεργοποιείται και η κατάσταση του θα επανεκτιμηθεί αργότερα.
- Αν κάποια συνάντηση είναι προγραμματισμένη στο προσεχές μέλλον τότε η κατάσταση το χώρου θα επανεκτιμηθεί μετά την λήξη της συνάντησης.

Η σοβαρότητα μιας κατάστασης "ύπνου" για μία οντότητα μπορεί να έχει διαφορετικά επίπεδα όπως τον χαμήλωμα του φωτισμού και κλιματισμού για μια σύντομη χρονική διάρκεια και στην συνέχεια μια πιο επιθετική κατάσταση περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας όπως με την απενεργοποίηση όλων των συσκευών όπως υπολογιστών, ηλεκτρονικών συσκευών και του κλιματισμού.

Η επαναφορά σε μια ενεργή κατάσταση μπορεί να προκληθεί από ένα αριθμό ερεθισμάτων και συμβάντων όπως:

- την ανίχνευση ανθρώπινης παρουσίας,
- τον προγραμματισμό κάποιου συμβάντος στο άμεσο μέλλον,
- ή κάποια αίτηση από τον ίδιο τον διαχειριστή του συστήματος.

Σε ένα ακόμη πιο ελεγχόμενο περιβάλλον θα ήταν δυνατόν να ελέγχουμε πλήρως και τις κινητές συσκευές όπως φορητός υπολογιστές ή λάμπες γραφείων και την απενεργοποίηση και αυτών για ακόμη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.

Απαιτήσεις που προκύπτουν από τις ενέργειες που περιγράφηκαν στις παραπάνω περιπτώσεις μπορούν να εξαχθούν οι εξής απαιτήσεις για το χρησιμοποιούμενο σύστημα:

- Η επικοινωνία ανάμεσα στις εφαρμογές και τις συσκευές γίνεται με ένα τρόπο που επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων και την κατανόησή τους από μηχανές (M2M communication). Για τον σκοπό αυτό γίνεται χρήση της τεχνολογίας SPARQL [22] και RDF [21]. Η SPARQL πρόκειται για μια γλώσσα ερωτημάτων αντίστοιχη της SQL για τις βάσεις δεδομένων που προσφέρει την δυνατότητα ερωτήσεων πάνω στις εμπλουτισμένες σημασιολογικές περιγραφές των συσκευών αλλά και στον συνδυασμό πληροφοριών από πολλαπλές πηγές όπως εξωτερικές υπηρεσίες

(π.χ., πρόγνωσης καιρού ή διαχείρισης επαφών και συναντήσεων). Παραδείγματα περιγραφών και ερωτημάτων σε SPARQL και RDF παραθέτονται στα Listing 2.1 και 2.2.

Listing 2.1: Ερώτημα SPARQL για εισαγωγή δεδομένων.

```

1 PREFIX rdf:      <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
2 PREFIX spt:      <http://spitfire-project.eu/ontology/ns/>
3 PREFIX spt-ct:   <http://spitfire-project.eu/ontology/ns/ct/>
4 PREFIX dul:      <http://www.ontologydesignpatterns.org/ont/dul/DUL.owl>
5 INSERT DATA
6 {
7   <http://example/occupancy-2008121937> a spt-ct:Occupancy ;
8                                     spt:status spt-ct:Occupied ;
9                                     dul:hasLocation <http://example/room101> ;
10                                    spt:tStart "12-08-20T14:05Z" .
11 }
```

- Είναι εφικτή η επικοινωνία και προς τις 2 κατευθύνσεις έτσι ώστε εκτός από την άντληση πληροφοριών να είναι εφικτή και η πραγματοποίηση ενεργειών για την μεταβολή της φυσικής κατάστασης των συσκευών και των ελεγκτών.

Listing 2.2: Ερώτημα SPARQL για την αναζήτηση συσκευών με αισθητήρα ανθρώπινης παρουσίας

```

1 PREFIX spt:      <http://spitfire-project.eu/ontology/ns/>
2 PREFIX spt-ct:   <http://spitfire-project.eu/ontology/ns/ct/>
3 PREFIX dul:      <http://www.ontologydesignpatterns.org/ont/dul/DUL.owl>
4 PREFIX rdf:      <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
5 PREFIX rdfs:     <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
6 SELECT ?appliance ?start
7 {
8   ?appliance rdf:type/rdfs:subClassOf* spt-ct:Appliance .
9   ?presence rdf:type/rdfs:subClassOf* spt-ct:Presence ;
10            dul:hasLocation <http://example/room101> ;
11            dul:hasParticipant ?appliance ;
12            spt:tStart ?start .
13   MINUS{ ?presence spt:tEnd ?end }
14 }
```

Τα αποτελέσματα των Listing 2.2, μπορούν να παρουσιαστούν σε ASCII Table κωδικοποίηση όπως φαίνεται στο Listing 2.3. Αποτελούνται από μια λίστα τιμών ενέργειας που έχει εξοικονομηθεί με την χρήση του εγκατεστημένου δικτύου αισθητήρων. Μπορούν έτσι να χρησιμοποιηθούν για να συγκριθούν τα αποτελέσματα της εξοικονόμησης ενέργειας διαφόρων συσκευών και να εξαχθούν συμπεράσματα για τις πολιτικές που ακολουθήθηκαν σε όλες τις περιπτώσεις και με την προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή απόδοση των συσκευών.

Listing 2.3: Δεδομένα Απάντησής σε ερώτημα SPARQL

1	+	+
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9	+	+

- Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι η δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης των συσκευών με χρήση ενός Publish/Subscribe μηχανισμού για την αποδοτικότερη χρήση των πόρων όλων των υποσυστημάτων.
- Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι η χρήση ενός μηχανισμού αναζήτησης για τον εντοπισμό των απαραίτητων οντοτήτων είτε με χρήση μεθόδων όπως SPARQL είτε με RESTFUL διεπαφές.
- Για το κομμάτι των συσκευών του δικτύου είναι απαραίτητη η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και παροχής πληροφοριών από αισθητήρες σε μια κωδικοποίηση που μπορεί να διαχειριστή εύκολα κάποια εφαρμογή διαδικτύου αλλά και γίνεται εύκολα προσαρμόσιμη στις περιορισμένες δυνατότητες των συσκευών.

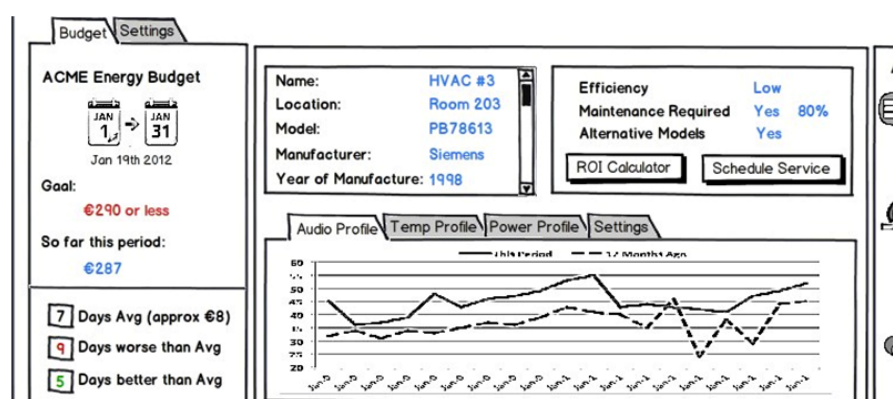
2.2.2 Ανάλυση ενεργειακής απόδοσης Οντοτήτων

Η ύπαρξη πολλαπλών αισθητήρων και αντίστοιχων δεδομένων σε διαφορετικά επίπεδα παρέχει την δυνατότητα για την παροχή λύσεων προς επιχειρήσεις και προτάσεων για πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να γίνει ιδιαίτερα ισχυρή αν συνδυαστούν τα δεδομένα των αισθητήρων με εξωτερικές πηγές όπως δεδομένα από γειτονικές εγκαταστάσεις με παρόμοια φυσικά χαρακτηριστικά, τις ίδιες ή αντίστοιχες συσκευές και παρόμοια επίπεδα χρήσης (Linked Open Data - ανοιχτά δεδομένα διαθέσιμα στο διαδίκτυο για κοινή χρήση) για την συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας των συσκευών που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, η ύπαρξη δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας για το επίπεδο Δωματίων μπορεί να υποδείξει ότι το κόστος ηλεκτροδότησης ενός αριθμού δωματίων είναι σημαντικά υψηλότερο από κάποια άλλα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους λόγους όπως την ανάγκη κλιματισμού, την τοποθεσία του δωματίου μέσα στο κτίριο (Βόρειο ή Νότιο δωμάτιο) και συνεπώς να εξηγήσει ή όχι την διαφοροποίηση αυτή. Η κατανάλωση ενέργειας συνεπώς μπορεί να μετριάσει ακολουθώντας επιλεγμένες ενέργειες όπως την προτίμηση χώρων με καλύτερη θέση μέσα στο κτίριο ή την πρόταση για βελτίωση των συνθηκών (εγκατάσταση σκιάστρων ή προσαρμογή της λειτουργίας της επιχείρησης).

Σχήμα 2.4: Διεπαφή για την κράτηση χώρων σε περιβάλλοντα Ανοιχτών Γραφείων μέσω του IBAS

2.2.3 Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδο συσκευών

Άμεσα συνδεδεμένο με το προηγούμενο παράδειγμα χρήσης είναι και το επόμενο αλλά αναφέρεται σε εξατομικευμένες συσκευές και όχι σε ομάδες όπως Γραφεία και Θέσεις Εργασίας. Στην γενική περίπτωση μπορεί να γίνει εφαρμογή σε κάθε είδους συσκευή από μονάδες κλιματισμού μέχρι και φωτοτυπικά, εκτυπωτές και οικιακές συσκευές για να προσδιοριστεί η απόδοση της λειτουργίας του.



Σχήμα 2.5: Διεπαφή για την παρακολούθηση τιμών ιστορικών μετρήσεων και real-time πληροφοριών σε επίπεδο συσκευών μέσω του IBAS

Σε ένα χαμηλό επίπεδο οι ιδιοκτήτες και οι ένοικοι των κτιρίων μπορούν να παράγουν αναφορές αποτελεσματικότητας σε επίπεδο συσκευών για τον εντοπισμό προβλημάτων για το οποία η χρήση της εγγύησης μπορεί να απαιτείται. Ad-hoc αναφορές, π.χ., ποιες συσκευές έχουν την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας την ώρα στο τελευταίο τετράμηνο για την ανάλυση των απαιτή-

σεών τους. Προφανώς οι συσκευές που κινούνται μπορούν να περιπλέξουν τον εντοπισμό των προβλημάτων αλλά και την σύγκριση των συσκευών.

Η ύπαρξη δυο συσκευών με τα ίδια χαρακτηριστικά αλλά με διαφορετικά στοιχεία στην κατανάλωση ενέργειας μπορούν να υποδείξουν την κακή λειτουργία της συσκευής ή την ανάγκη συντήρησης της από τους τεχνικούς της κατασκευάστριας εταιρίας εάν αυτό είναι εφικτό καθώς και το πιθανό τέλος της ζωής της αν η λειτουργία της επιβαρύνεται σταθερά στο τελευταίο διάστημα. Ανόμοιες συσκευές που λειτουργούν στο ίδιο ή αντίστοιχο περιβάλλον, π.χ., 2 διαφορετικές καφετιέρες με ίδια χρήση μπορούν αν υποδείξουν ότι είναι προτιμότερη από ενεργειακής άποψης η προτίμηση προς την μία από τις 2 επιλογές.

Τα απλά δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας μπορούν σε επίπεδο συστήματος να εμπλουτιστούν με εξωτερικά δεδομένα όπως την τοποθεσία, φόρτο λειτουργίας, κατασκευαστή και προτεινόμενη λειτουργία για την λήψη των σωστών αποφάσεων. Τέτοιες πληροφορίες τα τελευταία χρόνια γίνονται όλο και περισσότερο διαθέσιμες σε κωδικοποιήσεις που επιτρέπουν την χρήση τους από μηχανές και εφαρμογές για την χρήση μεθόδων εξαγωγής συμπερασμάτων και αποφάσεων.

2.3 Χρησιμοποιούμενες Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα

Στο επίπεδο των συσκευών αισθητήρων χρησιμοποιούμε συσκευές τύπου Arduino και iSense. Ο προγραμματισμός τους γίνεται με χρήση της Wiring και C++, και της βιβλιοθήκης Wiselib.

Για την υλοποίηση των ελεγκτών δικτύου χρησιμοποιούμε συσκευές Arduino Ethernet και Xbee, καθώς και τις απαιτούμενες βιβλιοθήκες pubsubclient (MQTT client), Ethernet και Xbee για να πετύχουμε την επικοινωνία ανάμεσα στις συσκευές και της της επικοινωνίας ανάμεσα στο Überdust και τις συσκευές του δικτύου.

Στο 2ο επίπεδο της αρχιτεκτονικής, το σύστημα Überdust έχει υλοποιηθεί σε Java με χρήση τεχνολογιών Hibernate, Spring, JSTL και Jetty. Η εφαρμογή απαιτεί επίσης την ύπαρξη ενός Java Web Server και συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο Caucho Resin.

Στο επίπεδο των εφαρμογών έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες γλώσσες προγραμματισμού (Java, PHP, JavaScript, Python, Android, iOS) και εξωτερικές υπηρεσίες (Microsoft On{x}, Foursquare, Google Calendar, Windows 8.1 SDK).

2.3.1 Wiselib

Η Wiselib [4] είναι μια βιβλιοθήκη αλγορίθμων για δίκτυα αισθητήρων. Περιέχει ένα μεγάλο αριθμό από αλγορίθμους (για πχ., δρομολόγηση μηνυμάτων

ή συσταδοποίηση) οι οποίοι μπορούν να μεταγλωττιστούν και να χρησιμοποιηθούν σε ένα αριθμό διαφορετικών συσκευών όπως iSense ή Contiki αλλά και τον προσομοιωτή ασύρματων δικτύων Shawn για απο-σφαλμάτωση και αξιολόγηση της υλοποίησής χωρίς την χρήση πραγματικών συσκευών. Είναι πλήρως γραμμένη σε C++, και χρησιμοποιεί templates για να προσφέρει generic και ανεξάρτητο της πραγματικής πλατφόρμας υλοποίησης κώδικα και στην συνέχεια επιτρέπει την αποδοτική μεταγλώττιση σε κάποια από τις διαθέσιμες πλατφόρμες. Προσφέρει επίσης, εύχρηστες διεπαφές με το λειτουργικό σύστημα γεγονός που απλοποιεί την ανάπτυξη και μειώνει την ανάγκη ενασχόλησης με χαμηλής σημασίας διαλειτουργικότητες για την κάθε μια από τις διαφορετικές πλατφόρμες που υποστηρίζονται.

2.3.2 CoAP

Το πρωτόκολλο CoAP θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί στην παράγραφο 3.2.2

2.3.3 MQTT

Το Message Queue Telemetry Transport (MQTT) είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων για επικοινωνία ανάμεσα σε εφαρμογές (M2M) το οποίο επιτρέπει την μεταφορά πληροφοριών με την μορφή σύντομων μηνυμάτων ανάμεσα σε συσκευές, από δίκτυα με μεγάλους χρόνους απόκρισης ή χαμηλές υπολογιστικές και άλλες δυνατότητες, προς εξ υπηρέτες δικτύου ή διαχειριστές μηνυμάτων. Τέτοιες συσκευές μπορούν να αποτελούν είτε απλές συσκευές αισθητήρων και ελεγκτών, κινητά τηλέφωνα, ή ενσωματωμένα συστήματα (πχ, συνδεδεμένα σε κινούμενα οχήματα), ή ακόμη και φορητή υπολογιστές αλλά και πλήρη υπολογιστικά συστήματα. Το πρωτόκολλο αυτό δημιουργήθηκε από τον Andy Stanford-Clark της εταιρίας IBM, και τον Arlen Nipper των Cirrus Link Solutions.

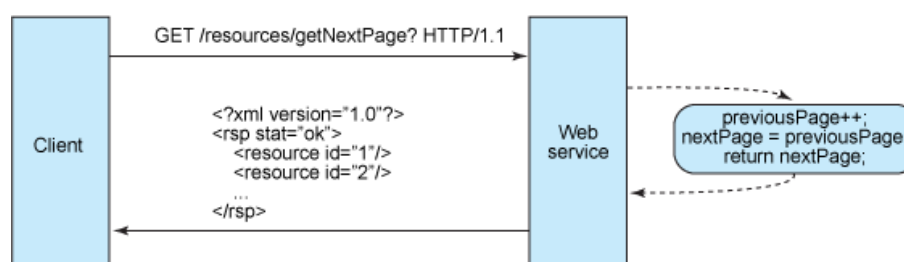
Το πρωτόκολλο βρίσκεται στην έκδοση 3.1³ και χρησιμοποιείται ήδη από μεγάλες εφαρμογές που απαιτούν επεκτασιμότητα και ελάχιστους πόρους λειτουργίας όπως το Facebook Messenger.

2.3.4 RESTful Web Services

Η Representational state transfer (REST) αρχιτεκτονική είναι μια μορφή υλοποίησης κατανεμημένων συστημάτων όπως του World Wide Web και έχει εξελιχθεί ως η κυρίαρχη μεθοδολογία κατασκευής διεπαφών για διαδυκτιακές εφαρμογές. Ο όρος Representational state transfer εισήχθη το 2000 από τον Roy Fielding που έχει συνεισφέρει σημαντικά στην διατύπωση των προτύπων

³<http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-mqtt/>

HTTP 1.0 και 1.1. Η αρχιτεκτονική τύπου REST αναπτύχθηκε από την W3C Technical Architecture Group (TAG) παράλληλα με το πρότυπο HTTP/1.1, και βασίστηκε στην προηγούμενη έκδοση του πρωτοκόλλου HTTP/1.0. Το World Wide Web αποτελεί το μεγαλύτερο υλοποιημένο υπολογιστικό σύστημα λειτουργεί βασισμένο στην REST αρχιτεκτονική. Οι RESTful αρχιτεκτονικές βασίζονται στο μοντέλο του πελάτη-εξυπηρέτη όπου οι πελάτες αποστέλλουν αιτήσεις στους εξυπηρέτες, εκείνοι με την σειρά τους τις επεξεργάζονται και επιστρέφουν τις κατάλληλες απαντήσεις. Τα αιτήματα και απαντήσεις φτιάχνονται με βάση τις αναπαραστάσεις των αντικειμένων πληροφορίας που διαθέτει ο εξυπηρέτης. Ένα αντικείμενο μπορεί να είναι κάθε δομημένο κομμάτι πληροφορίας το οποίο μπορεί να δεικτοδοτήσει. Μια αναπαράσταση της πληροφορίας είναι συνήθως ένα κείμενο το οποίο αναφέρεται στην τωρινή ή την επιδιωκόμενη κατάσταση ενός αντικειμένου. Ο πελάτης αλληλεπιδρά με τον εξυπηρέτη για να μεταβάλει ή να προσπελάσει τα αντικείμενα του. Ενώ ένα ή περισσότερα αιτήματα είναι σε εκκρεμότητα ο πελάτης βρίσκεται σε κατάσταση μετάβασης. Η αναπαράσταση κάθε κατάστασης της εφαρμογής μπορεί να περιέχει υπερσυνδέσμους που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενη μετάβαση προς μια νέα κατάσταση (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: REST αλληλεπίδραση πελάτη και εξυπηρέτη.

Κυριότερες τεχνολογίες για την υλοποίηση τέτοιων εφαρμογών είναι οι Spring⁴ και Hibernate⁵ που θα αναλυθούν αργότερα.

2.3.5 Blockly

Το Blockly⁶ είναι μια βιβλιοθήκη γραμμένη σε JavaScript σχεδιασμένη για την υποβοήθηση εκπαιδευτικών και άλλων εφαρμογών με χρήση μιας γραφικής απεικόνισης των ιδεών προγραμματισμού υπό την μορφή παζλ. Στόχος της δημιουργίας του ήταν να δοθεί η δυνατότητα σε άτομα που δεν είναι προγραμματιστές αλλά κυρίως ακόμη και σε μικρά παιδιά να σκεφτούν και να κατανοήσουν βασικές αρχές του προγραμματισμού μέσα από μια εύκολη

⁴<http://www.springsource.org/spring-framework>

⁵<http://www.hibernate.org/>

⁶<https://code.google.com/p/blockly/>

διεπαφή και να αποκτήσουν έτσι καλύτερη σχέση με νέες τεχνολογίες και το διαδίκτυο. Πρόκειται για μια βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα στην οποία συνεισέφεραν ένας μεγάλος αριθμός από προγραμματιστές από όλο τον κόσμο. Το γεγονός ότι πρόκειται για μια ανοιχτού κώδικα εφαρμογή ήταν αυτό που μας βοήθησε να την προσαρμόσουμε στις δικές μας ανάγκες έτσι ώστε να προσφέρουμε ένα εύχρηστο περιβάλλον για την αλληλεπίδραση των χρηστών με το σύστημά μας.

Μέρος II

Επίπεδα Συστήματος

3. Ετερογενές Δίκτυο Αισθητήρων και Ελεγκτών

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες που σχετίζονται με την υλοποίηση και την λειτουργία του χαμηλότερου επίπεδου του συστήματος. Συγκεκριμένα γίνεται αρχικά μια περιγραφή των συσκευών που χρησιμοποιούμε (Παράγραφος 3.1). Στην συνέχεια παρουσιάζονται λεπτομέρειες για τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ανάμεσα στις συσκευές του δικτύου (Παράγραφος 3.2) αλλά και οι ελεγκτές του δικτύου που απαιτούνται για την διασύνδεση των συσκευών με το Διαδίκτυο (Παράγραφος 3.3).

3.1 Συσκευές

Για την καλύτερη αξιολόγηση των επιλογών που υπάρχουν σε επίπεδο υλικού επιλέχθηκε η χρήση 2 διαφορετικών συσκευών. Το Arduino αποτελεί μια χαμηλού κόστους πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που προσφέρει μεγάλες δυνατότητες επέκτασης αλλά μικρότερη υποστήριξη σε επίπεδο εγγυημένης λειτουργίας καθώς η υλοποίηση του λογισμικού αφήνεται πλήρως στον προγραμματιστή. Αντίθετα οι συσκευές iSense προσφέρονται από την εταιρεία Coalesenses και πρόκειται για συσκευές που λειτουργούν πάνω σε ένα κλειστού κώδικα λειτουργικό σύστημα και προσφέρουν ένα περιορισμένο αριθμό επεκτάσεων που συνοδεύονται από συγκεκριμένες βιβλιοθήκες που προσφέρουν εύκολη και γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών. Οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι 2 αυτές πλατφόρμες αναλύονται στην συνέχεια αυτής της παραγράφου.

3.1.1 iSense

Οι συσκευές iSense της Coalesenses ¹ είναι ένα προϊόν το οποίο προσφέρει έτοιμες λύσεις αισθητήρων για μεγάλο πλήθος εφαρμογών WSN. Οι συσκευές είναι διαθέσιμες σε 2 τύπους (Core Module 1 και 2) και είναι βασισμένες σε

¹<http://www.coalesenses.com>

32Bit Jennic μικροελεγκτές (RISC αρχιτεκτονικής), με 128kB RAM, 512kB μνήμη Flash για το εκτελέσιμο του κώδικα και IEEE 802.15.4 συμβατά radios με ενσωματωμένες εσωτερικές ή εξωτερικές κεραίες για χρήση ανάλογα με τις απαιτήσεις συνδεσιμότητας της εφαρμογής που υλοποιείται. Όλα τα βασικά υποσυστήματα βρίσκονται συνδεδεμένα σε ένα ολοκληρωμένο που αποκαλείται Core Module. Επεκτάσεις αισθητήρων διατίθενται για χρήση ως επιπρόσθετες πηγές πληροφοριών ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Συγκεκριμένα υπάρχουν επεκτάσεις για μελέτη Περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία, φωτεινότητα), Καιρικών συνθηκών (υγρασία, βαρομετρική πίεση, θερμοκρασία), ασφάλεια (Πυροηλεκτρικός αισθητήρας κίνησης, και επιταχυνσιόμετρο) και άλλες. Ο προγραμματισμός τους γίνεται με χρήση C++ και του ba-elf μεταγλωττιστή καθώς και ενός κλειστού κώδικα SDK που προσφέρει ένα σύνολο βιβλιοθηκών και ρουτινών έλεγχου για τις βασικές διαδικασίες του Core Module και των επεκτάσεων αισθητήρων. Επίσης προσφέρεται η δυνατότητα Over-The-Air programming για τον ευκολότερο προγραμματισμό των ήδη τοποθετημένων στο δίκτυο συσκευών χωρίς να απαιτείται άμεση πρόσβαση σε αυτές.

3.1.2 Arduino

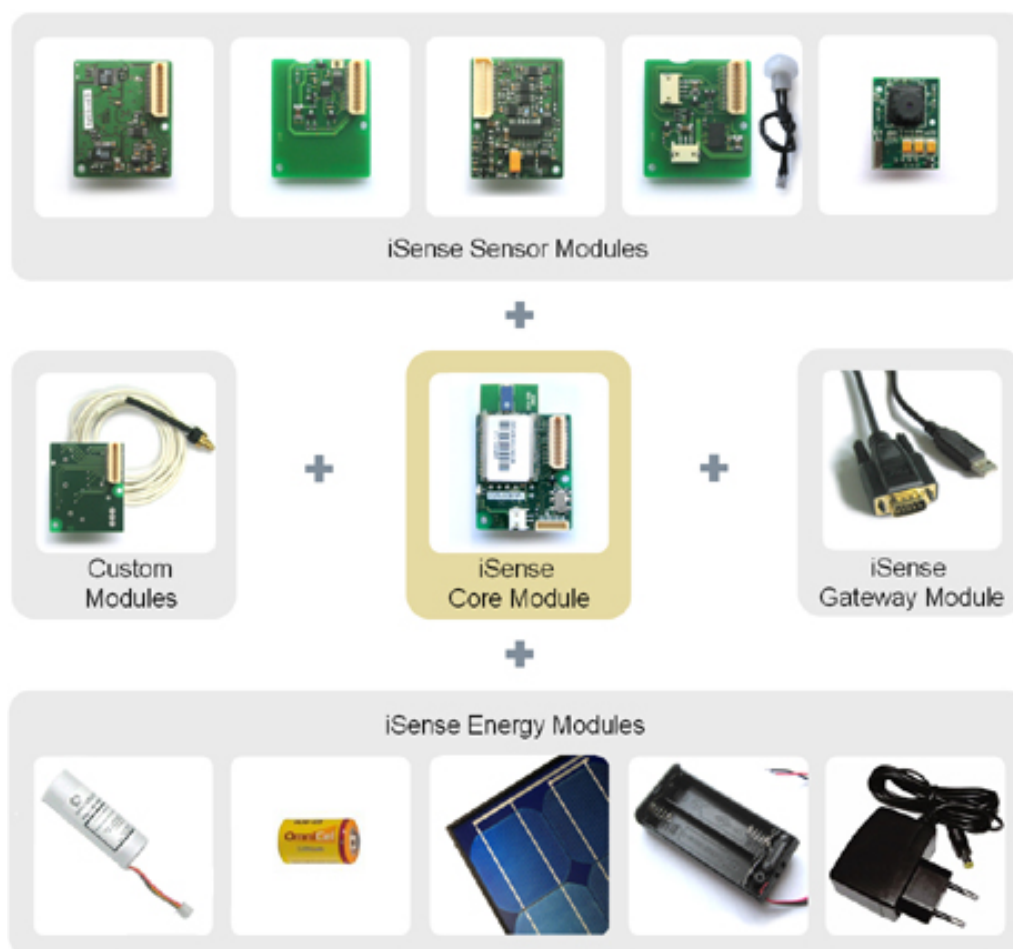
Το Arduino² είναι μια πλατφόρμα παραγωγής ηλεκτρονικών πρωτοτύπων ανοιχτού κώδικα με πολύ χαμηλό κόστος και μεγάλες δυνατότητες επέκτασης και τροποποίησης. Το Arduino Uno (η πιο σημαντική και κοινή έκδοση του) χρησιμοποιεί ένα μικροελεγκτή βασισμένο στον ATmega328 επεξεργαστή. Διαθέτει επίσης 14 ακροδέκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακές εισόδους ή εξόδους, 6 αναλογικές εισόδους, USB συνδεσμολογία για εύκολο προγραμματισμό, είσοδο ρεύματος για τροφοδοσία μέσω μετασχηματιστή, και ICSP ακροδέκτες για προγραμματισμό του firmware. Όλες οι βασικές βιβλιοθήκες του Arduino είναι γραμμένες με χρήση της γλώσσας Wiring η οποία το κάνει πλήρως συμβατό με C και C++ εφαρμογές μέσω του avr-gcc μεταγλωττιστή και της βιβλιοθήκης AVR Libc.

Το Arduino προσφέρει 3 πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά και προτερήματα στα πλαίσια του συστήματός μας:

- Ο προγραμματισμός του γίνεται μέσω C++ και συνεπώς είναι σε μεγάλο βαθμό συμβατό με τις iSense συσκευές.
- Είναι εξαιρετικά εύκολο στην επέκτασή του με μεγάλο αριθμό αισθητήρων και συσκευών έλεγχου.
- Προσφέρει την δυνατότητα διασύνδεσης με 802.15.4 συμβατό ασύρματο μέσο επικοινωνίας με χρήση των συσκευών Xbee³ με εξαιρετικά χαμηλό

²<http://www.arduino.cc>

³<http://www.digi.com/xbee/>

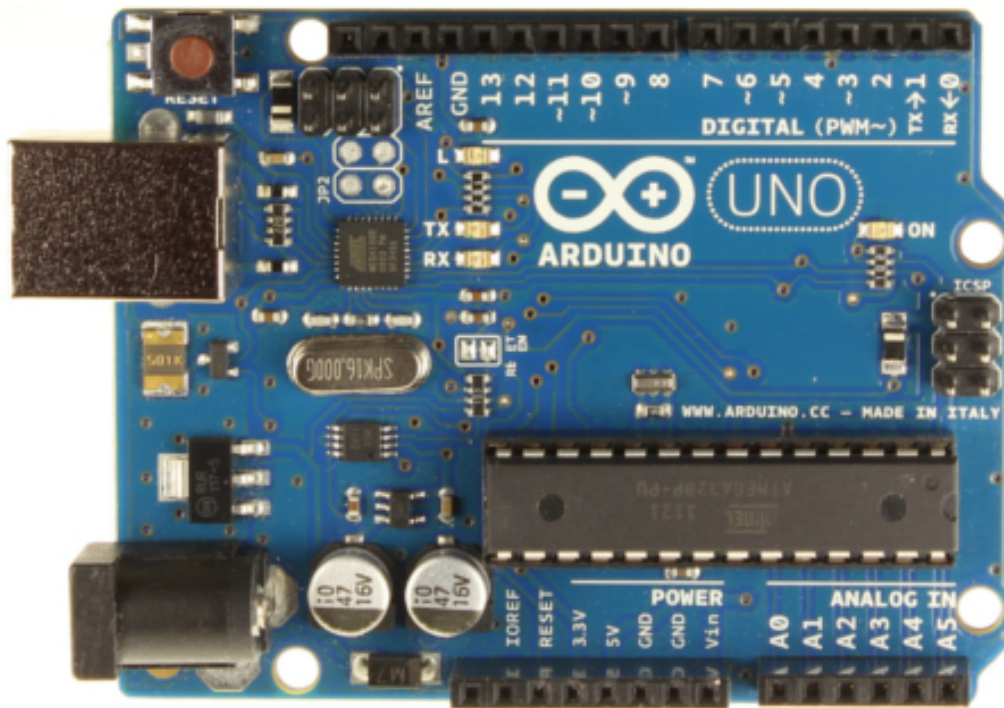
**Σχήμα 3.1:** iSense

κόστος (συγκεκριμένα, με χρήση των Xbee Series 1, σε λειτουργία API τύπου 1).

3.2 Συνδεσιμότητα και Δια-λειτουργικότητα Συσκευών

3.2.1 Συμβατότητα σε επίπεδο 802.15.4 MAC

Παρά το γεγονός ότι για την ασύρματη επικοινωνία τους και οι 2 συσκευές του συστήματος χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο 802.15.4 για την καλύτερη επικοινωνία τους απαιτείται η δημιουργία ενός ενδιάμεσου επιπέδου διαλειτουργικότητας. Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων γίνεται χρήση



Σχήμα 3.2: Arduino

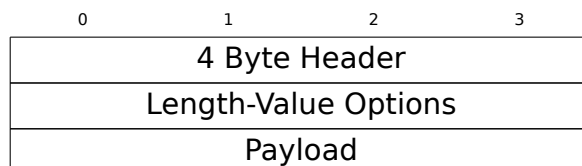
της βιβλιοθήκης MkSense [1], που προσφέρει άμεση συμβατότητα με ένα μεγάλο αριθμό παρόμοιων συσκευών. Η βιβλιοθήκη αυτή αναλαμβάνει να χειριστεί αποδοτικά τις κεφαλίδες των μηνυμάτων και προσφέρει επικοινωνία εκτός των iSense και Xbee και με συσκευές SunSpot και TelosB.

3.2.2 Πρωτόκολλο Συσκευών Περιορισμένων Δυνατοτήτων (CoAP)

Το Constrained Application Protocol (CoAP) [15], είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο βρίσκεται στην διαδικασία επισημοποίησης από την ομάδα εργασίας IETF CoRE η οποία ασχολείται με εφαρμογές για Restful Περιβάλλοντα Περιορισμένων Δυνατοτήτων (Restful Constrained Environments). Προσφέρει ένα ακριβές υποσύνολο των μεθόδων του HTTP πρωτοκόλλου και συγκεκριμένα τις μεθόδους (GET, PUT, POST, DELETE) που είναι απαραίτητες για να προσφέρουν RESTful υπηρεσίες μέσα σε WSNs. Η υλοποίηση μας έγινε με χρήση της έκδοσης 8 [15] του πρωτοκόλλου ενώ πρόσφατα έχει εκδοθεί η 18η και τελική έκδοσή του [16] που περιέχει σημαντικές αλλαγές στην εσωτερική δομή των μηνυμάτων αιτήσεων αλλά και απαντήσεων.

Τα μηνύματα τα οποία ανταλλάσσουν οι συσκευές διατηρούν μια συγκεκριμένη δομή, αποτελούμενη από μια κεφαλίδα 4ων Byte, προαιρετικών επιλογών

(Options) σε μορφή Length-Value και επίσης ένα payload όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3.

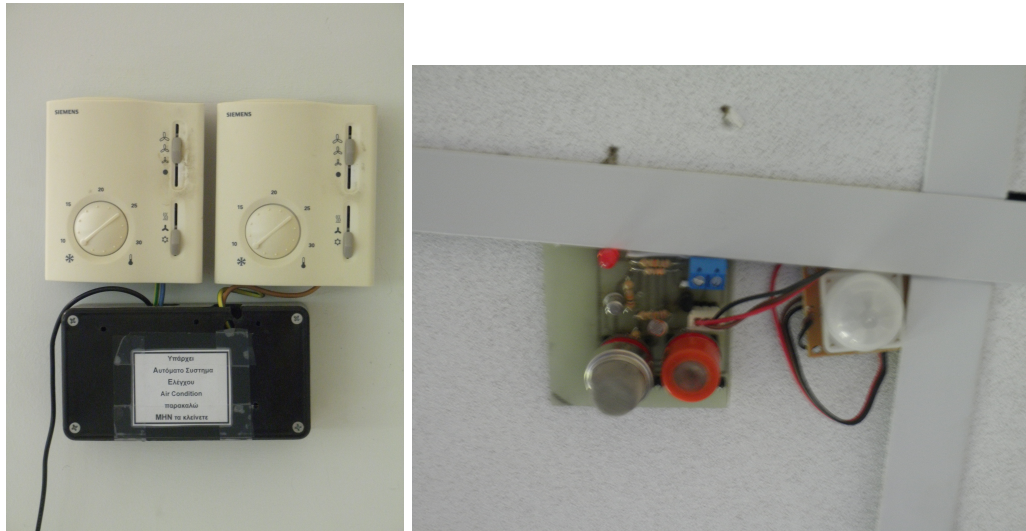


Σχήμα 3.3: CoAP Packet

Οι συσκευές στις οποίες έχει εισαχθεί το πρωτόκολλο CoAP μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα ως Εξυπηρετητές αλλά και ως Πελάτες μέσα στο δίκτυο αισθητήρων. Η επικοινωνία ανάμεσα σε 2 οποιαδήποτε endpoints βασίζεται στην χρήση ενός απλού μοντέλου αιτήσεων/απαντήσεων βασισμένο στην λειτουργία του UDP. Σε αντίθεση με το HTTP το οποίο χρησιμοποιεί το TCP για τις συσκευές αυτού του τύπου είναι προτιμότερη χρήση του UDP καθώς οι απαιτήσεις για την διατήρηση των συνδέσεων υπερβαίνουν συχνά τις δυνατότητες των συσκευών.

Το CoAP προσφέρει ταυτόχρονα ασφαλή και μη παράδοση των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται παρά το ότι βασίζεται στο UDP. Για τις unreliable μεταδόσεις, γίνεται μετάδοση χωρίς την ύπαρξη τρόπου για την επιβεβαίωση της παράδοσης του μηνύματος στον τελικό προορισμό. Για την επίτευξη αξιοπιστίας επικοινωνίας γίνεται χρήση μηνυμάτων επιβεβαίωσης τα οποία αποστέλλονται με την παραλαβή του μηνύματος από τον τελικό αποδέκτη σε αντιστοιχία με την μέθοδο που ακολουθείται στις TCP συνδέσεις. Μηνύματα που δεν επιβεβαιώνονται (είτε λόγω απώλειας της επιβεβαίωσης είτε λόγω αδυναμίας παράδοσης του μηνύματος) αποστέλλονται ξανά μέχρι 4 φορές σε εκθετικά αυξανόμενα χρονικά διαστήματα για να μειωθεί η συμφόρηση στο δίκτυο και να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιτυχία στην παράδοση τους. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα για χρήση της μεθόδου *riggybacking* για την αποστολή απαντήσεων και επιβεβαιώσεων μέσα στο ίδιο μήνυμα σε μια προσπάθεια να περιοριστούν οι μεταδόσεις ανάμεσα στις συσκευές, καθώς και η συνολικά απαιτούμενη ενέργεια όπως και ο όγκος της κίνησης στο ασύρματο δίκτυο. Αυτή η μέθοδος ακολουθείται σε όλες τις περιπτώσεις αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να ζητηθεί από την συσκευή πελάτη ξεχωριστό μήνυμα επιβεβαίωσης. Η χρήση της ασφαλούς ή μη μετάδοσης επιλέγεται από τον εξυπηρετή και τον πελάτη σε κάθε περίπτωση ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους και τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Ακόμη το πρωτόκολλο CoAP προσφέρει την δυνατότητα χρήσης μηχανισμών λανθάνουσας μνήμης και proxies όπως συμβαίνει με το HTTP σε μια προσπάθεια να μειωθεί ακόμα περισσότερο ο χρόνος απόκρισης του συστήματος αλλά και η κατανάλωση πόρων του ασύρματου δικτύου (όπως ενέργεια και διαθέσιμο εύρος ζώνης). Αυτά τα χαρακτηριστικά δεν περιέχονται στην υλο-



Σχήμα 3.4: Arduino και Xbee ελεγκτές συσκευών και αισθητήρες.

ποίηση που πραγματοποιήθηκε καθώς προσφέρονται σε υψηλότερα επίπεδα με πιο αποδοτικό τρόπο.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του CoAP είναι η επεκτασιμότητα του μέσω των αποκαλούμενων επεκτάσεων του. Συγκεκριμένα έχουν ήδη προταθεί ένας μεγάλος αριθμός επεκτάσεων με σκοπό την επίλυση προβλημάτων επικοινωνίας και διαχείρισης πόρων που απαιτούνται για την λειτουργία και προσφορά δικτυακών υπηρεσιών σε περιβάλλοντα WSNs. Δυο από αυτές τις επεκτάσεις χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση που περιγράφουμε και αναφέρονται με περισσότερες λεπτομέρειες στις επόμενες παραγράφους.

Αυτόματες Ενημερώσεις - Observe Extension

Μια σημαντική διαδικασία στα WSNs είναι η παρακολούθηση των μετρήσεων συγκεκριμένων αισθητήρων για την συνεχή γνώση της τρέχουσας κατάστασης που επικρατεί στο χώρο (πχ, παρακολούθηση ενός αισθητήρα κίνησης για τον εντοπισμό εισβολέων). Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι εξαιρετικά μη αποδοτικό να ακολουθείται η μέθοδος των περιοδικών αιτήσεων για λήψη νέων μετρήσεων καθώς:

- Δεν γνωρίζουμε εκ των προτέρων πότε πρέπει να γίνουν οι αιτήσεις για να πάρουμε μια σωστή ειδοποίηση για τις όποιες αλλαγές,
- Οι συνεχείς και τακτές αιτήσεις μπορούν να εξαντλήσουν χωρίς λόγο τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας.
- Αυξάνουμε σημαντικά και χωρίς λόγο την κίνηση των δεδομένων μέσα

στο ασύρματο δίκτυο και αυξάνουμε τον κίνδυνο απώλειας μηνυμάτων λόγω συγκρούσεων και κακών συνδέσεων.

Έτσι λοιπόν καθώς οι τιμές των πόρων μιας συσκευής μπορούν να αλλάξουν ανά πάσα χρονική στιγμή έχει προταθεί η ιδέα των Observe όπου μια συσκευή πελάτης εγγράφεται ως συνδρομητής και λαμβάνει μηνύματα με τις νέες τιμές των αισθητήρων όποτε αυτές προκύψουν. Η επέκταση αυτή [12] περιγράφει και καθορίζει τον μηχανισμό με τον οποίο οι πελάτες του δικτύου μπορούν να εγγραφούν εκδηλώνοντας το ενδιαφέρον τους και στην συνέχεια οι CoAP εξυπηρετητές αναλαμβάνουν να τους προωθούν ενημερωμένες αναπαραστάσεις των μετρήσεων μόλις αυτές αλλάξουν. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ορισμού από τους πελάτες συγκεκριμένων ορίων για τα οποία επιθυμούν να λαμβάνουν τις ενημερώσεις από τους εξυπηρετητές (πχ, για αλλαγή θερμοκρασίας μεγαλύτερη των 2 βαθμών Κελσίου). Επίσης, για να υπάρχει μια ελάχιστη επικοινωνία ανάμεσα στον πελάτη και τον εξυπηρετή υπάρχουν συγκεκριμένες μεταδόσεις που λαμβάνουν χώρα ακόμα και όταν δεν υπάρχει κάποια αλλαγή αλλά έχει παρέλθει ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (πχ, 5 λεπτά) για να επιβεβαιωθεί ότι η συσκευή πελάτης βρίσκεται ακόμη σε επικοινωνία με τον εξυπηρετή και υπάρχει ενδιαφέρον για την παρακολούθηση των μετρήσεων. Αυτή η πρακτική ακολουθείται κυρίως για να αφαιρούνται από το σύστημα ανενεργές "συνδέσεις" οι οποίες σε WSNs είναι δυσκολότερο να εντοπιστούν ειδικά σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν κινούμενες συσκευές και μεγάλες εγκαταστάσεις. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ο πελάτης να διακόψει την σύνδεση με τον εξυπηρετή με χρήση ειδικών μηνυμάτων ακύρωσης (RESET).

Κατακερματισμός μηνυμάτων - Blockwise Transfers Extension

Η αναπαράσταση των δεδομένων που περιγράφουν μια μέτρηση είναι δυνατόν να ξεπεράσουν το όριο των 100 περίπου bytes που είναι διαθέσιμα για την αποστολή ενός μηνύματος με χρήση 802.15.4 ασύρματων δικτύων. Αυτό παρατηρείται κυρίως όταν γίνεται χρήση περισσότερο εμπλουτισμένων αναπαραστάσεων όπως RDF στις οποίες οι μετρήσεις εμπλουτίζονται και με περιγραφή της ίδιας της παραμέτρου που μετρήθηκε ή και πληροφοριών για την τοποθεσία και τις παραμέτρους κάτω από τις οποίες αυτή έγινε. Για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων έχει προταθεί και χρησιμοποιείται η Block [6] επέκταση του CoAP που προσφέρει κατακερματισμό των μηνυμάτων προς αποστολή και στην συνέχεια αποστολή τους με ανεξάρτητα μηνύματα κατόπιν ειδικής αίτησης από τον πελάτη. Είναι δηλαδή δυνατόν να ζητηθεί κατ'εξάιρεση κάποιο από τα Blocks ενός πόρου και όχι το σύνολο του μηνύματος ανεξάρτητα από όποια άλλη επικοινωνία. Ο διαχωρισμός των μεγάλων μηνυμάτων και η μεταφορά κατά Blocks είναι εφικτή τόσο για τις αιτήσεις προς τους εξυπηρετές όσο και για τις απαντήσεις προς τους πελάτες παρά το γεγονός ότι σπάνια κάποια αίτηση μπορεί να φτάσει το όριο των 112 bytes που είναι διαθέσιμα σε ένα μήνυμα.

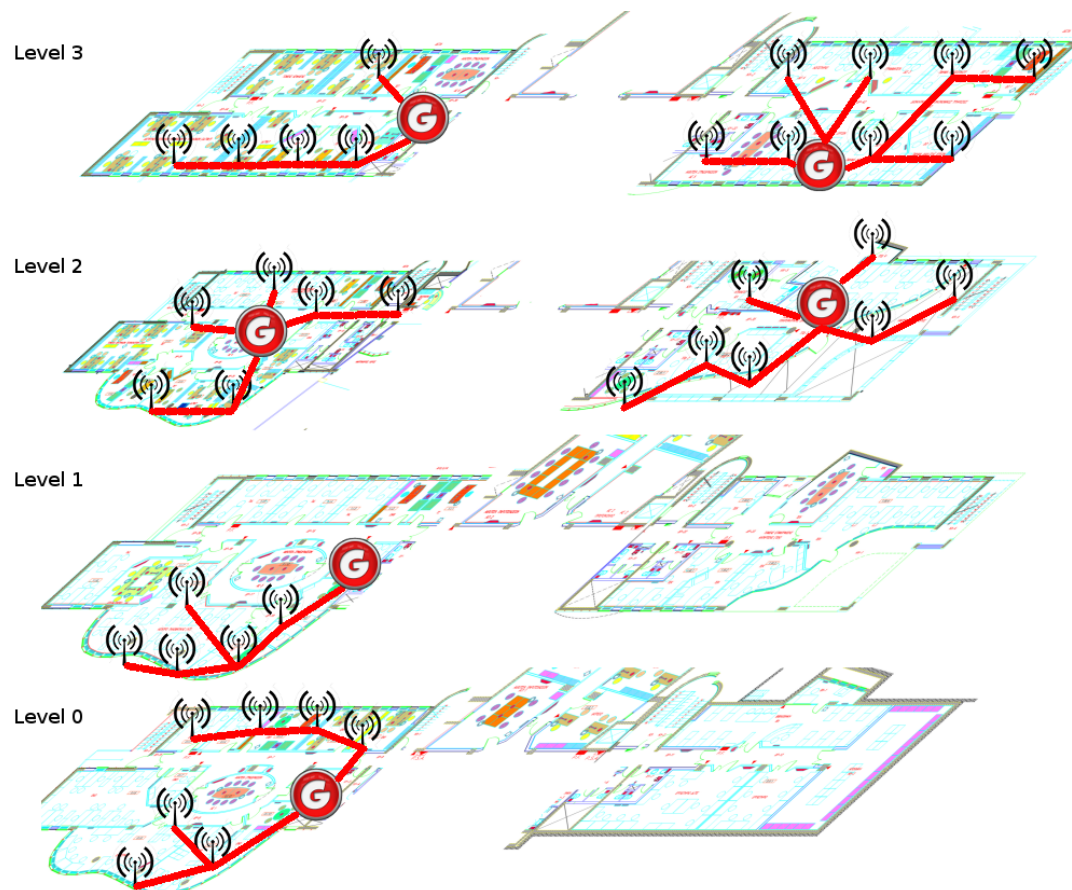
Αυτόματη Αναγνώριση Υπηρεσιών - Core Link Format

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος στα WSNs είναι η έλλειψη εκ των προτέρων γνώση για το σύνολο των υπηρεσιών που θα προσφέρουν οι συσκευές. Γίνεται λοιπόν εμφανής η ανάγκη για ύπαρξη ενός μηχανισμού αναγνώρισης και εγγραφής των συσκευών που εντοπίζονται ταυτόχρονα με την δυνατότητα εντοπισμού πιθανών προβλημάτων στην λειτουργία τους. Η ύπαρξη μια διαδικασίας σχεδιασμένης για επικοινωνία ανάμεσα σε συσκευές (machine-to-machine) που δεν απαιτεί σε κανένα στάδιο την παρέμβαση το διαχειριστή του συστήματος είναι λοιπόν απαραίτητη καθώς νέες συσκευές προστίθενται και αφαιρούνται συνεχώς από το δίκτυο αλλά και όσες παραμένουν σε αυτό είναι δυνατόν να μεταφέρονται και να τροποποιούνται καθώς αποκτούν πρόσβαση σε περισσότερους πόρους. Οι συσκευές που ακολουθούν την υλοποίησή μας χρησιμοποιούν το CoRE Link Format [23] και προσφέρουν τον ονομαζόμενο `.well-known/core` πόρο στον οποίο περιγράφουν πλήρως τις δυνατότητες, τους πόρους και τις συσκευές στις οποίες βρίσκονται συνδεδεμένες. Με χρήση αυτό του ειδικού πόρου κάποια συσκευή πελάτης μπορεί πολύ εύκολα να αναγνωρίσει όλες τις υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει κάθε εξυπηρετής και να αναγνωρίσει άμεσα τα URIs στα οποία αυτές αντιστοιχούν. Ο πόρος αυτός μπορεί σύμφωνα με το πρότυπο που έχει προταθεί να επεκταθεί έτσι ώστε να παρέχεται επιπρόσθετη πληροφορία στα πρότυπα του σημασιολογικού ιστού με επιπλέον περιγραφές των ιδιοτήτων και της λειτουργίας του εξυπηρετή.

3.2.3 Δρομολόγηση δεδομένων σε επίπεδο συσκευών

Η ανταλλαγή μηνυμάτων με χρήση του πρωτοκόλλου 802.15.4 απαιτεί την άμεση επικοινωνία μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Για την αποστολή μηνυμάτων σε συσκευές που δεν βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια επικοινωνίας είναι απαραίτητη η χρήση ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης των δεδομένων από την μία συσκευή στην άλλη χρησιμοποιώντας ενδιάμεσους κόμβους που βρίσκονται στο χώρο ανάμεσά τους. Συγκεκριμένα στην υλοποίησή μας χρησιμοποιήσαμε ένα αλγόριθμο δρομολόγησης δέντρου με ρίζα τους ελεγκτές του δικτύου. Κάθε συσκευή έχει την δυνατότητα να αποστέλλει μηνύματα προς την ρίζα ενώ η ρίζα μπορεί να δρομολογεί μηνύματα προς κάθε ένα από τους απογόνους του. Συγκεκριμένα η ρίζα εκπέμπει περιοδικά ένα μήνυμα φάρο το οποίο επισημαίνει την θέση της. Κάθε συσκευή που λαμβάνει το μήνυμα αυτό αποφασίζει να συνδεθεί στο δίκτυο και στην συνέχεια αναμεταδίδει το μήνυμα αυτό. Η επιλογή για το πως θα συνδεθεί η κάθε συσκευή στο δένδρο που σχηματίζεται επιλέγεται με χρήση 2 βασικών παραμέτρων:

- Την απόσταση από τη ρίζα, έτσι ώστε να μειωθεί όσο είναι δυνατόν το ύψος του δέντρου που σχηματίζεται,
- Την ποιότητα του σήματος από τον αποστολέα για να επιλεγθούν οι καλύ-



Σχήμα 3.5: Παραδείγματα δρομολόγησης μηνυμάτων μέσα στο κτίριο του ΙΤΥΕ.

τερες δυνατές συνδέσεις για την μεταφορά των μηνυμάτων και να μειωθούν τα χαμένα μηνύματα.

Ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο συνδέονται οι συσκευές στο δίκτυο φαίνεται στο Σχήμα 3.5 όπου φαίνονται οι συνδέσεις μεταξύ των συσκευών που έχουν εγκατασταθεί στο ΙΤΥΕ και της συσκευής ελεγκτή που έχει εγκατασταθεί στα διάφορα επίπεδα του κτιρίου.

3.3 Συλλογή Δεδομένων μέσω συσκευών Gateways

Για την συλλογή των δεδομένων και την επικοινωνία ανάμεσα σε εφαρμογές του διαδικτύου και τις συσκευές του δικτύου μας είναι απαραίτητη η ύπαρξη συσκευών που μεταφέρουν την επικοινωνία από το επίπεδο των 802.15.4 πακέτων σε IP πακέτα και συνδέσεις. Για να το πετύχουμε αυτό χρειάστηκε η

κατασκευή ενός ειδικού κόμβου μέσα στο δίκτυο ο οποίος έχει ταυτόχρονα διεπαφές Ethernet και 802.15.4 και διαθέτει ειδικό λογισμικό έτσι ώστε να δρομολογεί κατάλληλα τα διερχόμενα από αυτόν μηνύματα.

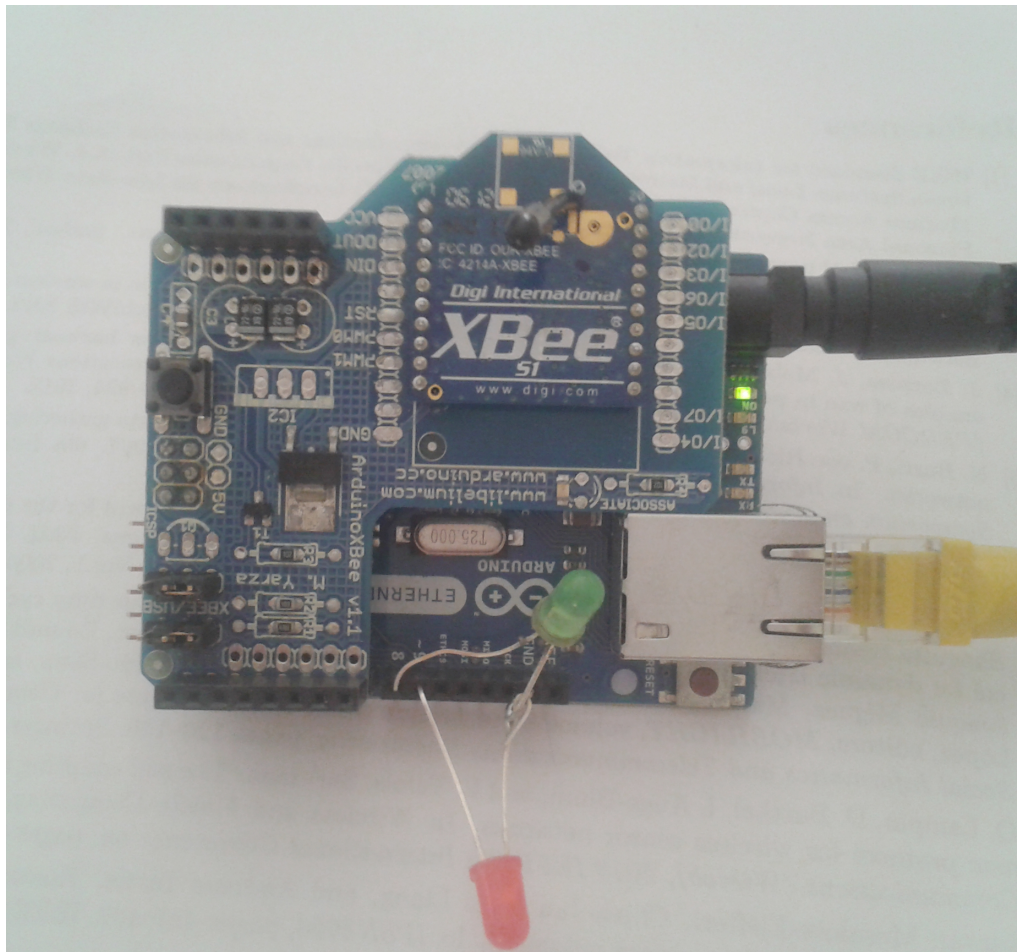
Συγκεκριμένα όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες παραγράφους στο επίπεδο του δικτύου αισθητήρων η δρομολόγηση των μηνυμάτων γίνεται με χρήση ενός δεντρικού αλγορίθμου στον οποίο η ρίζα είναι αυτός ο ειδικός κόμβος. Για την επικοινωνία σε επίπεδο διαδικτύου ο ειδικός αυτός κόμβος χρησιμοποιεί μια σύνδεση με ένα MQTT διαχειριστή μηνυμάτων για να δημοσιεύσει σε αυτόν τα μηνύματα των συσκευών αλλά και να λάβει τα μηνύματα τα οποία του αποστέλλουν οι πελάτες των συσκευών.

Συγκεκριμένα κάθε συσκευή "γέφυρα" προγραμματίζεται για να αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο υποδίκτυο του συνολικού συστήματος ("testbed"). Στόχος είναι να γίνεται καλύτερη διαχείριση και ομαδοποίηση των συσκευών στο επίπεδο του Διαδικτύου για να είναι ευκολότερα προσβάσιμα τα δεδομένα στους χρήστες/προγραμματιστές. Παρόλα αυτά είναι δυνατόν και συνήθως προτιμότερο να υπάρχουν περισσότερες από 1 συσκευές γέφυρες μέσα σε ένα δίκτυο το οποίο έχει σημαντικά μεγάλη έκταση (> 100 τμ όπως έχει αποδειχθεί από την συνεχή χρήση του συστήματος σε διάφορους χώρους) για να διευκολυνθεί η επικοινωνία και μειωθούν οι απώλειες μηνυμάτων κατά την επικοινωνία πάνω από πολλαπλές συνδέσεις.

Η συσκευή αυτή λόγω της σημαντικής θέσης της μέσα στο δίκτυο έχει και συγκεκριμένες απαιτήσεις ασφαλείας για την αδιάκοπη λειτουργία της και για τον λόγο αυτό έχει επιλεγεί η υλοποίησή της με χρήση Arduino Ethernet στο οποίο έχει ρυθμιστεί με συγκεκριμένο τρόπο ο watchdog timer με σκοπό την άμεση επανεκκίνηση της συσκευής αν προκύψει πρόβλημα στην λειτουργία της. Συγκεκριμένα η συσκευή "γέφυρα" απαιτεί να λαμβάνει από το κεντρικό εξυπηρετή του Überdust ανά τακτά χρονικά διαστήματα (3 δευτερόλεπτα) μηνύματα τα οποία μηδενίζουν τον watchdog timer και διατηρούν την συσκευή σε λειτουργία. Ο τρόπος αυτός επιλέχθηκε καθώς δεν είναι αποδοτικό από άποψη λειτουργίας της συσκευής να ελεγχθεί το κατά πόσον η σύνδεση με τον MQTT εξυπηρετή είναι ακόμα ανοιχτή. Επίσης, αντιστοιχεί διαδικασία επαναρχικοποίησης ακολουθείται και για την περίπτωση όπου υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην επικοινωνία με το δίκτυο των συσκευών οπότε και επαναρχικοποιείται η συσκευή για να διορθωθεί το πρόβλημα που προέκυψε.

Ακόμη η χρήση το πρωτοκόλλου δίνει την δυνατότητα προσθήκης κάποιων βασικών παραμέτρων ασφαλείας στο σύστημά μας με την χρήση των βασικών μεθόδων ταυτοποίησης χρηστών που παρέχουν οι MQTT διαχειριστές μηνυμάτων. Συγκεκριμένα για την παρακολούθηση των μηνυμάτων αλλά και την δημοσίευση μετρήσεων στο σύστημα απαιτείται η χρήση ονόματος χρήστη και κωδικού πρόσβασης που προσφέρει την δυνατότητα αυτή μόνο σε εξουσιοδοτημένες εφαρμογές.

Τέλος έχουν υλοποιηθεί ειδικές διαδικασίες στο λογισμικό της συσκευής γέφυρας που επιτρέπουν την αποστολή ειδικών πληροφοριών και στατιστι-



Σχήμα 3.6: Συσκευή Γέφυρα με χρήση Arduino Ethernet και Xbee

κών για τα μηνύματα και τους διαθέσιμους πόρους που αυτή διαθέτει και να ανιχνευτούν τυχόν περιπτώσεις όπου ο φόρτος θα υπερβεί τις δυνατότητες των συσκευών Arduino.

4. Σύστημα διαχείρισης Δεδομένων σε επίπεδο Web

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν οι λεπτομέρειες που αφορούν την εφαρμογή που είναι υπεύθυνη για την συγκέντρωση, διαχείριση, αποθήκευση και διαμοιρασμό των πληροφοριών που εξάγονται από τις συσκευές των δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα θα περιγραφεί ο τρόπος αποθήκευσης (Ενότητα 4.1), παρουσίασης και διαμοιρασμού (Ενότητα 4.2) των μετρήσεων, ο τρόπος αναπαράστασης των περιγραφών των συσκευών (Ενότητα 4.3) και των σημασιολογικών οντοτήτων του συστήματος (Ενότητα 4.4).

4.1 Αποδοτική Αποθήκευση Δεδομένων - Wisedb

Η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται με χρήση της τεχνολογίας Hibernate για να εξασφαλίσουμε την διαχείρισή τους ανεξάρτητα του πραγματικού τρόπου αποθήκευσης που χρησιμοποιείται (Mysqli, Mysql, TrippleDB). Το σύνολο των χρησιμοποιούμενων μοντέλων και οντοτήτων έχει προκύψει από την χρήση των πληροφοριών που προέρχονται από την οντολογία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των κοινών όρων που έχουν οριστεί από το W3C Semantic Sensor Network Incubator Group [14] για συσκευές αισθητήρων, δίκτυα αισθητήρων και δικτυακές εφαρμογές αισθητήρων. Η χρήση της Semantic Sensor Network οντολογίας επιλέχθηκε καθώς παρέχει πρόσβαση σε σημαντικά δεδομένα και μεταδιδόμενα που διευκολύνουν την λογική σε ένα επίπεδο ανώτερο από τις συσκευές και τους περιορισμούς που αυτές επιβάλλουν, κατηγοριοποίηση και την εξαγωγή συμπερασμάτων που προσφέρονται από άλλες τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού όπως τις RDF [21] περιγραφές και τις SPARQL μηχανές υποβολής ερωτημάτων.

Πιο συγκεκριμένα έχουν προσδιοριστεί οι ακόλουθες οντότητες οι οποίες καθορίζουν και το σχήμα της βάσης του συστήματος:

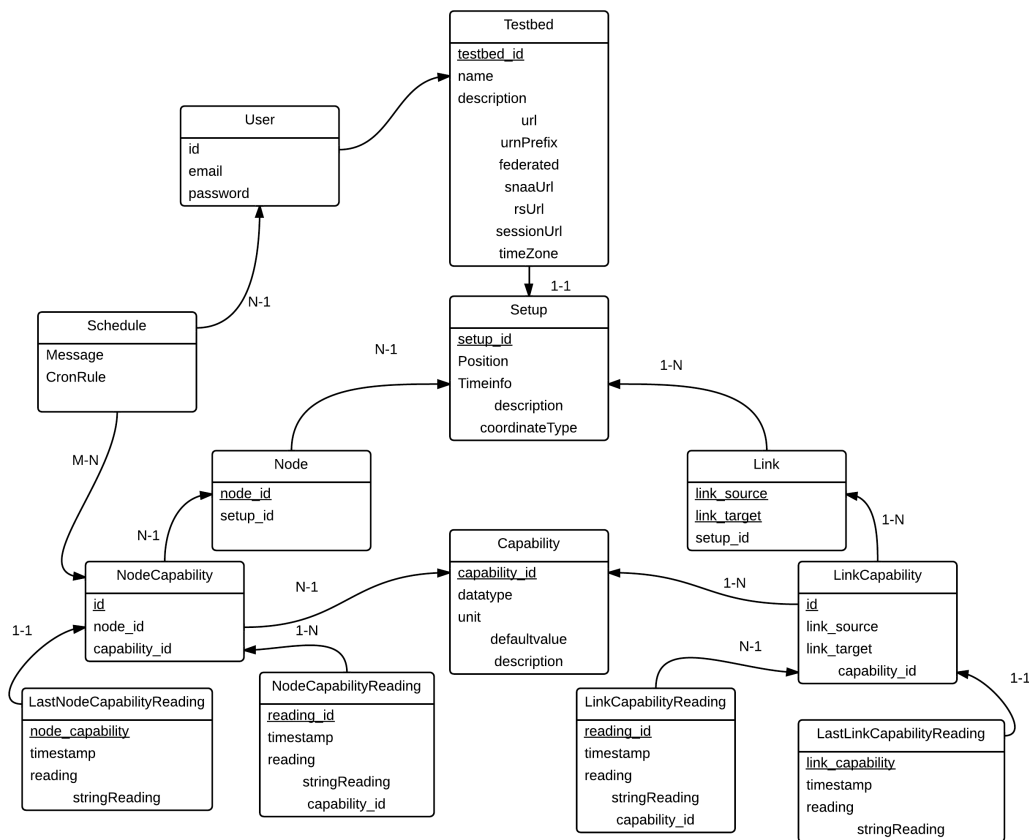
- **Testbed** περιγράφει ένα αριθμό συσκευών που ανήκουν σε ένα ενιαίο χώρο (κτήριο ή συγκρότημα κτηρίων) είτε βρίσκονται κάτω από μια ενιαία διοικητική βάση (δίκτυο καταστημάτων μιας εταιρίας).

- **Setup** αναφέρεται σε χαρακτηριστικά ενός Testbed τα οποία δεν σχετίζονται άμεσα με την λειτουργία του αλλά προσφέρουν καλύτερη περιγραφή του (όπως η τοποθεσία και το σύστημα συντεταγμένων που το περιγράφουν).
- **Node** οι συσκευές οι οποίες είναι εγκατεστημένες στο χώρο τον οποίο περιγράφει ένα Testbed.
- **Link** συσχετίσεις ανάμεσα σε συσκευές (είτε πραγματικές όπως η δυνατότητα επικοινωνίας, είτε σε επίπεδο συσκευών για να υποδείξει τις δυνατότητες επικοινωνίας ανάμεσα στις συσκευές όπως και λογικές συνδέσεις και συσχετίσεις).
- **Capability** Αναφέρεται στις δυνατότητες των συσκευών να χαρακτηρίσουν το περιβάλλον τους αλλά και τις ίδιες. Περιγράφονται με αυτές τόσο οι αισθητήρες (όπως ο η μέτρηση της σχετικής υγρασίας) αλλά και στοιχεία όπως η θέση και η κατάσταση τους.
- **Reading** Αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη μέτρηση ή περιγραφή η οποία μεταβάλλεται με τον χρόνο. Επίσης για την παροχή πληροφοριών για την μεταβολή των χαρακτηριστικών μέσα σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους οι τιμές που αποθηκεύονται έχουν και χρονικά χαρακτηριστικά.

Σε αυτές τις οντότητες έχουν προστεθεί για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος και οι ακόλουθες:

- **Node Capabilities** Προκύπτει από τον συνδυασμό συσκευών και Capabilities για τον προσδιορισμό όλων των δυνατοτήτων μιας συσκευής.
- **Link Capabilities** Προκύπτει από τον συνδυασμό Links και Capabilities για τον προσδιορισμό όλων των δυνατοτήτων μιας σύνδεσης ανάμεσα σε 2 συσκευές.
- **Latest Reading** Αναφέρεται στην τελευταία χρονικά καταχωρημένη μέτρηση στο σύστημα. Δεν πρόκειται απαραίτητα για την τελευταία χρονικά αλλά για την πιο πρόσφατη τιμή που δόθηκε από την συσκευή. Ακόμη, η χρήση αυτών των τιμών γίνεται για να επιταχυνθεί η διαδικασία αποστολής των τελευταίων μετρήσεων σε όλες εκείνες τις εφαρμογές/πελάτες που ενδιαφέρονται απλά για την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος και έτσι δεν χρειάζονται να προσπελάσουν το σύνολο των μετρήσεων αυτών.

Για την υλοποίηση του συστήματος αποθήκευσης χρησιμοποιούνται τα JPA και Hibernate Annotations για να περιγράψουν την αντιστοίχιση των μοντέλων στο στην σχεσιακή ΒΔ. Επίσης η διαχείριση των αντικειμένων γίνεται με χρήση γενικό Storage Controllers που εκτελούν τις απαραίτητες ενέργειες για



Σχήμα 4.1: Wisedb: Το σχεσιακό σχήμα που περιγράφει τα δίκτυα συσκευών αισθητήρων.

την μεταβολή των τιμών στην υπάρχουσα βάση ανεξάρτητα της υλοποίησής της. Η χρήση των Controllers μας προσφέρει την δυνατότητα να ορίσουμε όλες τις πιθανές ενέργειες από τις απλές εισαγωγές και διαγραφές μέχρι και πολύπλοκα συνδυαστικά ερωτήματα όπως αθροίσματα και ζεύξεις με χρήση μιας μόνο μεθόδου που υλοποιείται από τον προγραμματιστή που θα προσαρμόσει το σχήμα στο μέσο αποθήκευσης που αυτός επιθυμεί.

4.1.1 Formatters

Για την προβολή των δεδομένων και τον πληροφωριών του συστήματος σε διαφορετικές διαμορφώσεις (CSV, text, WiseML, SensorML κ.α.) έχει υλοποιηθεί ένα προκαθορισμένο interface το οποίο προσφέρει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Συγκεκριμένα, για να προσφερθούν τα δεδομένα σε ένα νέο τρόπο αναπαράστασης είναι απαραίτητο να γίνει η υλοποίηση της μετατροπής σύμφωνα με το interface που υπάρχει και στην συνέχεια τα δεδομένα προσφέρονται μέσω της web διεπαφής στους χρήστες με χρήση των υλοποιημένων μεθόδων. Επίσης δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν τα οι κλάσεις των Formatters χωρίς της άμεση σύνδεσή τους στην βάση δεδομένων σε μια ανεξάρτητη εφαρμογή για την αναπαράσταση δεδομένο που είτε έχουν ληφθεί από το Überdust είτε όχι.

4.2 Παρουσίαση των μετρήσεων

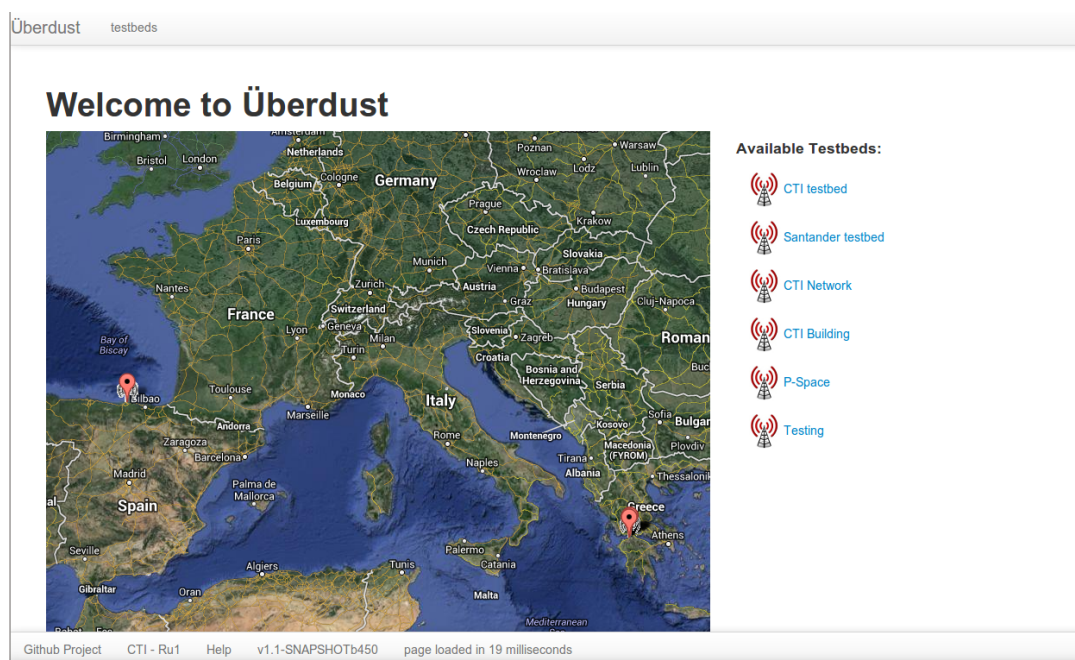
Για την παρουσίαση και προσφορά των μετρήσεων και των πληροφοριών των συσκευών υπάρχουν 2 μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και προέκυψαν ως αποτέλεσμα των αναγκών που διαπιστώθηκαν κατά προσπάθεια ανάπτυξης εφαρμογών χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τις συσκευές του συστήματος. Συγκεκριμένα, το Überdust παρέχει μετρήσεις με χρήση είτε μιας RESTful διεπαφής, είτε μέσω WebSockets. Οι 2 μέθοδοι χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς και δίνουν μια διαφορετική οπτική στα δεδομένα των συσκευών. Η επιλογή αφήνεται στην ευχέρεια του προγραμματιστή για να επιλέξει ποια από τις 2 μεθόδους θα ακολουθήσει αλλά σε γενικές γραμμές επιλέγεται η χρήση του RESTful interface για την προβολή στατικών και στατιστικών χαρακτηριστικών και η χρήση των WebSockets για την παροχή συνεχούς ροής πληροφοριών από τις συσκευές.

4.2.1 RESTful διεπαφή

Η RESTful διεπαφή, βασίζεται στο REpresentational State Transfer web μοντέλο εξυπηρέτησης και προσφέρει ένα εύκολο στη χρήση, προσανατολισμένο στις πληροφορίες μέσω του οποίου προσφέρονται οι υπηρεσίες του συστήματος. Οι δυνατότητες δημοσίευσης και κατανάλωσης μετρήσεων και δεδομέ-

νων είναι υλοποιημένες έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν είτε μέσω HTTP επικοινωνίας είτε μέσω του CoAP (Get και Put μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντιστοίχως).

Επίσης, για την καλύτερη παρουσίαση των δεδομένων στους χρήστες του συστήματος γίνεται χρήση του Google Maps API για την παροχή των παρουσίαση των πληροφοριών του συστήματος μέσω χαρτών όπου αυτό είναι επικτικό. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4.2 φαίνεται η αρχική σελίδα του συστήματος όπου με ειδικούς markers επισημαίνονται οι γεωγραφικές περιοχές στις οποίες υπάρχουν αισθητήρες που προσφέρουν οποιαδήποτε μορφή πληροφορία.



Σχήμα 4.2: Αρχική Σελίδα Εφαρμογής Überdust

Ακόμη, η ίδια λογική χρησιμοποιείται για την παρουσίαση των πληροφοριών σε επίπεδο Testbed. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζονται επάνω στο χάρτη τόσο το σημείο το οποίο έχει οριστεί ως κέντρο του χώρου αλλά και οι συσκευές οι οποίες βρίσκονται σε αυτό. Επίσης είναι δυνατόν να παρασταθούν διαφορετικά οι συσκευές ανάλογα με τον τύπο τους και τις δυνατότητές τους (διαφορετικό hardware αλλά και οι εικονικές συσκευές που θα αναλυθούν αργότερα στην Παράγραφο 4.4).

Τέλος, για την παρουσίαση της κάθε συσκευής παρέχεται εκτός από την θέση της στο σύστημα (η οποία μπορεί να προστεθεί είτε ως ακριβές στίγμα, είτε ως απόκλιση από το Origin του Testbed) παρέχονται εκτός από τις πληροφορίες για της δυνατότητές της και δεδομένα για την περιγραφή της αλλά και είναι QR κωδικός (Σχήμα 4.4) ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω φορητών συσκευών (όπως έξυπνα τηλέφωνα) για την ευκολότερη αναζήτηση

Überdust
testbeds
testbed
nodes
links
capabilities
virtual
status

Santander testbed

Testbed ID	2
meshlium-lab	
Testbed Name	Santander testbed
Testbed URN prefix	urn:santander:
Testbed Timezone	Central European Time
Testbed URL	http://www.smartsantander.eu
Testbed SNAA URL	
Testbed RS URL	
Testbed Session Management URL	
Federated Testbed	false
Testbed Status Page	Status page
Testbed GeoRSS feed	GeoRSS feed (View On Google Maps)
Testbed GeoJSON	GeoJSON
Testbed KML feed	KML feed (View On Google Maps)
Testbed WiseML	WiseML

Nodes
Virtual Nodes
Capabilities
Links

Σχήμα 4.3: Σελίδα Παρουσίασης Testbed Überdust

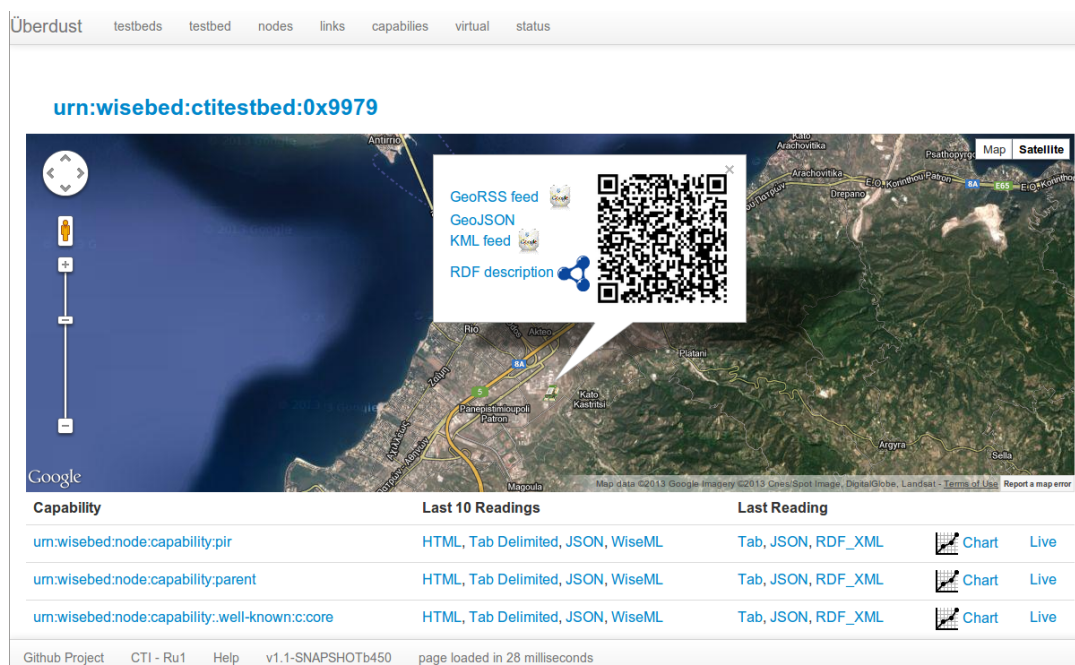
πληροφοριών από τους χρήστες που κινούνται μέσα στο χώρο της εγκατάστασης.

Η υποστήριξη για το πρωτόκολλο CoAP προστέθηκε στο Überdust, μέσω της βιβλιοθήκης Californium [13], μιας βιβλιοθήκης για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση μηνυμάτων CoAP, επιτρέποντας την άμεση απο άκρο σε άκρο επικοινωνία με όλες τις συσκευές του δικτύου. Η βιβλιοθήκη Californium παρέχει επίσης και μια επέκταση για τον φυλλομετρητή Mozilla Firefox με την χρήση του οποίου μπορούμε να επικοινωνήσουμε άμεσα με τις φυσικές συσκευές του δικτύου όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.5.

4.2.2 WebSockets

Η διεπαφή WebSocket προσφέρει αντίστοιχη λειτουργικότητα με την χρήση του IETF standardized WebSocket πρωτοκόλλου [9]. Τα WebSocket είναι μια τεχνολογία διαδικτύου που προσφέρει επικοινωνία 2 κατευθύνσεων ανάμεσα σε σε εξυπηρετές και πελάτες πάνω από μια TCP σύνδεση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εφαρμογή του διαδικτύου μέσω μια απλή HTTP σύνδεσης και ενός απλού αιτήματος αναβάθμισης. Κάνοντας χρήση μιας σύνδεσης WebSocket οι εφαρμογές μπορούν να λαμβάνουν ανά πάσα στιγμή νέες μετρήσεις, ιστορικά δεδομένα ή ακόμη και να στέλνουν μηνύματα CoAP προς τις συσκευές για να ενεργοποιήσουν ελεγκτές. Για την αποδοτικότερη επικοινωνία ανάμεσα στους πελάτες και στο Überdust γίνεται χρήση των Google's Protocol buffers¹. Με την χρήση των GPB γίνεται δυνατή η υλοποίηση βιβλιοθηκών για την σύνδεση στο σύστημα μέσω ενός μεγάλου αριθμού γλωσσών

¹<http://code.google.com/p/protobuf/>



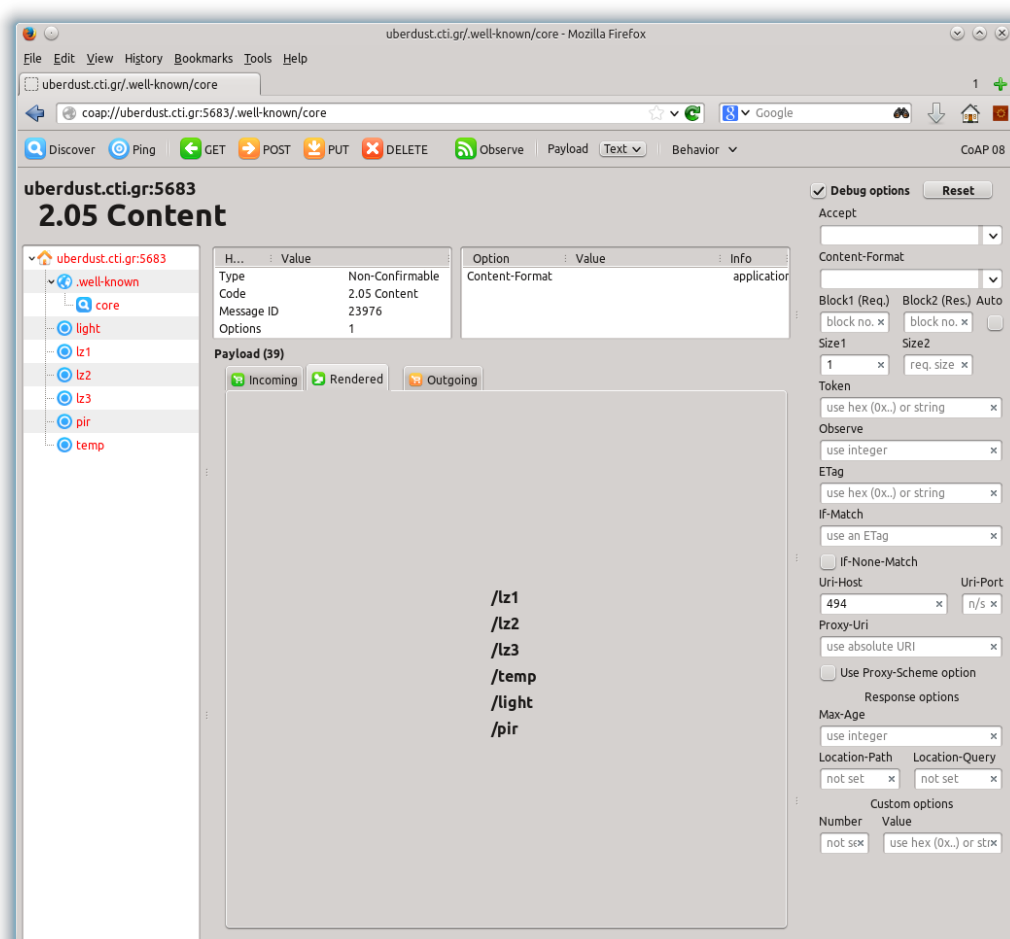
Σχήμα 4.4: Σελίδα Παρουσίασης Συσκευής Überdust

προγραμματισμού χωρίς να υπάρχουν θέματα λόγω διαφορετικών κωδικοποιήσεων ή τρόπου λειτουργίας (scripting ή binary execution).

4.3 Εμπλουτισμός δεδομένων με RDF

Η ιδέα του Semantic Web είναι ένα κίνημα που προωθείται από το World Wide Web Consortium (W3C) και έχει ως στόχο την προσφορά δεδομένων με κοινό τρόπο και δομή σε όλο το Διαδίκτυο. Για να επιτευχθεί αυτό ενθαρρύνεται η παροχή σημασιολογικών δεδομένων ως μέρος των ιστοσελίδων, με κύρια βλέψη την μετατροπή όλης της αδόμητης πληροφορίας που υπάρχει σήμερα διαθέσιμη σε αυτό σε ένα "Διαδίκτυο των Δεδομένων". Ο Σημασιολογικός Ιστός (όπως χαρακτηριστικά ονομάζεται) βασίζεται πάνω στο πρότυπο του Resource Description Framework (RDF). Το RDF είναι ένα πρότυπο μοντέλο για την ανταλλαγή δεδομένων στο Διαδίκτυο. Το RDF έχει χαρακτηριστικά που διευκολύνουν τον συνδυασμό δεδομένων ακόμη και αν τα σχήματα που τα περιγράφουν διαφέρουν, και προσφέρει την δυνατότητα εξέλιξης των σχημάτων με τον χρόνο καθώς δεν απαιτεί την αλλαγή των συστημάτων επεξεργασίας και ανάλυσής τους.

Το RDF επεκτείνει την δυνατότητα διασύνδεση του Διαδικτύου με την χρήση των υπερσυνδέσμων (URLs) για να αναγνωρίσει τις συσχετίσεις ανάμεσα στα αντικείμενα αλλά και τα ίδια τα αντικείμενα (κάτι που συνήθως



Σχήμα 4.5: Άμεση επικοινωνία με συσκευές μέσω της επέκτασης Copper.

προτιμάται και αναφέρεται ως "τριπλέτα" υπερσυνδέσμων). Η χρήση αυτού του απλού μοντέλου επιτρέπει τον συνδυασμό δομημένων και ημι-δομημένων δεδομένων και τον διαμοιρασμό τους ανάμεσα σε διαφορετικές εφαρμογές.

Η δυνατότητα αυτή της διασύνδεσης των δεδομένων δημιουργεί ένα κατευθυνόμενο γράφο, όπου οι ακμές φανερώνουν τις διασυνδέσεις ανάμεσα στα αντικείμενα-κόμβους του γράφου. Αυτή η μορφή είναι ο ευκολότερος τρόπος οπτικοποίησης του RDF μοντέλου και συχνά χρησιμοποιείται για να προσφέρει οπτικές επεξηγήσεις.

Σύμφωνα με το W3C, "Ο Σημασιολογικός ιστός προσφέρει ένα κοινό πλαίσιο μέσα στο οποίο τα δεδομένα μπορούν να διαμοιράζονται και να επαναχρησιμοποιούνται ανάμεσα σε εφαρμογές οργανισμούς και κοινότητες δίχως σύνορα και φραγμούς". Ο όρος έχει προκύψει από τον Tim Berners-Lee για ένα

δίκτυο δεδομένων που θα μπορεί να επεξεργαστεί και να κατανοηθεί εύκολα από μηχανές και ανθρώπους. Παρά το γεγονός ότι οι πολέμιοί του αμφισβητούν την δυνατότητα κατασκευής του, οι υπέρμαχοι αναφέρουν ότι εφαρμογές του στην βιομηχανία την βιολογία και τις ανθρωπιστικές επιστήμες έχουν ήδη αποδείξει την ορθότητα της ιδέας. Ο Σημασιολογικός Ιστός έχει ήδη χρησιμοποιηθεί κυρίως σε εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, υγείας και επιχειρηματικότητας (π.χ., διαφημίσεις) με μεγάλη επιτυχία. Παρά το γεγονός ότι το 2001 με άρθρο του στο Scientific American [5] μαζί με τους Hendler, και Lassila περιέγραψε την εξέλιξη του Διαδικτύου σε στον Σημασιολογικό Ιστό, αυτό δεν έχει ακόμα επιτευχθεί και όπως δήλωσε ο ίδιος το 2006, "This simple idea ... remains largely unrealized".

Οι δυνατότητες που παρέχει ωστόσο μια τέτοια δομή στο Διαδίκτυο φαντάζει ως η ιδανική λύση για να ξεπεράσουμε τα προβλήματα ασυμβατότητας που υπάρχουν ανάμεσα στις διάφορες συσκευές και συστήματα αισθητήρων και ελεγκτών. Η χρήση των RDF περιγραφών προσφέρει την δυνατότητα μιας εξαιρετικά ελεύθερης αλλά συνάμα αυστηρά δομημένης παρουσίας εννοιών που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Προσφέροντας όλες τις πληροφορίες που πηγάζουν από το δίκτυο των συσκευών σε αυτή το μορφή γίνεται εφικτός ο συνδυασμός τους με εξωτερικές πληροφορίες αλλά και ο εμπλουτισμός τους σε σημαντικό βαθμό μέσω μηχανών σημασιολογικής αναζήτησης σε κεντρικό επίπεδο για την παροχή περισσότερο ολοκληρωμένης γνώσης γύρω από τις μετρήσεις των αισθητήρων αυτές καθ' αυτές.

Για παράδειγμα, πέρα από την βασική πληροφορία του άμεσου αντικειμένου ενδιαφέροντος (π.χ., μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας) από μια συσκευή μπορούμε να προσδώσουμε σε αυτήν επιπλέον πληροφορίες. Μέσω πληροφορίας για την θέση την συσκευής προσδιορίζουμε την περιοχή στην οποία βρίσκεται (π.χ., πόλη, χώρα, ήπειρο) και την θέση της στο χώρο (εσωτερική μέτρηση ή εξωτερική). Δεδομένα για τον ιδιοκτήτη της συσκευής, την κατασκευάστρια εταιρία και συνεπώς τις προδιαγραφές της αλλά και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες χρησιμοποιείται (θερμό περιβάλλον ή ψυχρό). Στην συνέχεια μπορούμε να συγκρίνουμε με ένα πολύ εύκολο τρόπο (με βάση δεδομένα από αντίστοιχες μετρήσεις για παρόμοιες συσκευές) την ενεργειακή της απόδοση και το βαθμό στον οποίο αυτή αντιστοιχεί στα δεδομένα που αναφέρει ο κατασκευαστής και να προσδιορίσουμε πιθανά προβλήματα είναι στην συσκευή είτε στην χρήση της.

Ένα σημαντικό πεδίο εφαρμογής τέτοιων περιπτώσεων αφορά στην αναζήτηση αποδοτικών ενεργειακά αποδοτικών συσκευών και συμπεριφορών. Αυτό το γεγονός προσδίδει ιδιαίτερη δυναμική στην υλοποίηση τέτοιων συστημάτων αυτοματισμού καθώς πέρα από την απλή λειτουργία του κεντρικού έλεγχου και της παρακολούθησης των δεδομένων χρήσης σε κεντρικό επίπεδο είναι δυνατόν να αναλύσουμε με κάθε λεπτομέρεια τις συμπεριφορές που παρατηρούνται.

Πάνω σε αυτά τα δεδομένα είναι εφικτό να απευθύνουμε ερωτήματα τα

οποία μπορούν να απαντηθούν από κατάλληλες μηχανές αναζήτησης που αποκωδικοποιούν τις συσχετίσεις ανάμεσα στα δεδομένα και προσφέρουν τις κατάλληλες απαντήσεις. Τέτοια ερωτήματα μπορούν να προσφερθούν με χρήση της SPARQL. Η SPARQL μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκφραστούν ερωτήματα πάνω σε διαφορετικές πηγές δεδομένων, είτε τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε μορφή RDF είτε μπορούν να μετατραπούν σε RDF μέσω εξωτερικών εφαρμογών (middleware όπως το d2rq²). Η SPARQL προσφέρει δυνατότητες υποβολής ερωτημάτων αντιστοίχων της SQL και τα αποτελέσματα το οποία προσφέρει μπορούν να παρασταθούν ως πίνακες δεδομένων και συσχετίσεων ή ως γράφοι RDF.

Στο Überdust έχει προστεθεί η δυνατότητα παροχής των πληροφοριών που συλλέγονται από τις συσκευές (αισθητήρες και ελεγκτές) σε διαφορετικά επίπεδα (μια ή περισσότερες μετρήσεις, μια συσκευή ή και ένα σύνολο συσκευών) σε μορφή RDF σύμφωνα με τα πρότυπα που έχουν προσδιοριστεί ως μέρος του προγράμματος της E.E. SPITFIRE³.

4.4 Σημασιολογικές οντότητες σε επίπεδο συστήματος

Σε συνδυασμό με την χρήση εμπλουτισμένων δεδομένων για την εξαγωγή σημασιολογικών συμπερασμάτων χρησιμοποιούμε την έννοια των Σημασιολογικών Οντοτήτων τόσο σε επίπεδο συστήματος όσο και στο επίπεδο του δικτύου. Και στις 2 περιπτώσεις αναφερόμαστε στον συνδυασμό των δεδομένων από δυο ή περισσότερες συσκευές του συστήματος για την δημιουργία μιας εικονικής συσκευής που παρέχει ένα υποσύνολο των δεδομένων από τις συσκευές αυτές. Επίσης, για τον συνδυασμό των δεδομένων των συσκευών αυτών είναι δυνατόν να επιλέξουμε τις μεθόδους με τις οποίες θα συνδυάσουμε τα δεδομένα τους (άθροισμα, σταθμισμένο μέσο όρο κ.α.). Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει είτε σε επίπεδο δικτύου (υλοποιημένο μέσα στον κώδικα που εκτελείται στις συσκευές) είτε σε επίπεδο συστήματος μέσω της εφαρμογής Web που συλλέγει και διαχειρίζεται το σύνολο των δεδομένων. Η δεύτερη περίπτωση προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στην περίπτωση που επιθυμούμε να συνδυάσουμε δεδομένα από συσκευές που βρίσκονται σε μεγάλες απόσταση χωρίς να προσθέτουμε επιπλέον κόστος επικοινωνίας και λειτουργίας στο σύστημα. Ακόμη, η χρήση των ΣΟΕΣ μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιούμε την πληροφορία από τις επιπλέον συσκευές για να αποφύγουμε προβλήματα όπως βλάβες στις συσκευές αλλά και να εξάγουμε συμπεράσματα για δίχως να γνωρίζουμε την ακριβή κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή του ενδιαφέροντος μας: Υπάρχει κάποιος στον Όροφο 1 του κτιρίου;

²<http://d2rq.org/>

³<http://spitfire-project.eu/>

Σε αυτή την περίπτωση αρκεί να αναζητήσουμε μια συσκευή που να αποδεικνύει την ύπαρξη κίνησης από ένα τουλάχιστον αισθητήρα, σε αντίθεση με την ανάγκη να ζητήσουμε την κατάσταση από όλες τις συσκευές του δικτύου. Επίσης, μια άλλη σημαντική ιδιότητα της χρήσης των ΣΟΕΣ είναι η δυνατότητα απόκρυψης προσωπικών δεδομένων καθώς δεν ενημερωνόμαστε για την ακριβή τοποθεσία του ατόμου αλλά για την ύπαρξή του απλά. Βέβαια, όσο περισσότερο περιορίζουμε την επιφάνεια στην οποία αναφέρεται μια ΣΟ τόσο περισσότερο χάνεται η ιδιότητα αυτή.

Για την δημιουργία των ΣΟΕΔ χρησιμοποιούμε τις βασικές ιδέες των αλγορίθμων συσταδοποίησης και ομαδοποίησης για την σύνδεση συσκευών που εμφανίζουν ίδια σημασιολογικά χαρακτηριστικά (όπως ίδιους αισθητήρες ή ίδιο αντικείμενο ενδιαφέροντος). Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούμε μια μονάδα αποθήκευσης σημασιολογικών δεδομένα (tuple-store) το οποίο προσφέρει αποδοτική και ομοιόμορφη αποθήκευση των σημασιολογικών δεδομένο μέσω κάποιας μορφής αποδοτικής κωδικοποίησης. Επίσης είναι σημαντικό να προσφέρεται και η δυνατότητα σύγκρισης και εύρεσης ομοιοτήτων στις περιγραφές συσκευών που λαμβάνουμε από τις γειτονικές συσκευές. Επίσης είναι σημαντική η ύπαρξη ενός μηχανισμού συντήρησης των σημασιολογικών οντοτήτων και η ανανέωσή τους σε περιπτώσεις που παρουσιάζονται αλλαγές στο δίκτυο όπως μετακινήσεις συσκευών. Για τον σκοπό αυτό γίνεται χρήση των μεθόδων που περιγράφονται στο [3].

Για την κατασκευή των σημασιολογικών οντοτήτων σε επίπεδο συστήματος γίνεται χρήση μιας τροποποιημένης εκδοχής της μηχανής Blockly για τον προσδιορισμό των συσκευών που μετέχουν στην εικονική συσκευή που δημιουργούμε. Η περιγραφή τους διατηρείται στο Überdust με χρήση μετρήσεων τύπου virtual πάνω στις συνδέσεις που δημιουργούνται ανάμεσα στις συσκευές που αποτελούν τον ΣΟΕΣ. Η επιλογή αυτή γίνεται για να προσδιοριστούν καλύτερα τα χρονικά όρια κατά τα οποία μια συσκευής μετέχει σε μια σημασιολογική οντότητα καθώς και η ιστορική μορφή της οντότητας αυτής.

4.4.1 Λανθάνουσα μνήμη

Για την αποδοτικότερη διαχείριση και προσφορά των μετρήσεων έχει υλοποιηθεί ένα σύστημα λανθάνουσας μνήμης με χρήση των Java Annotations, σε επίπεδο συναρτήσεων το οποίο χρησιμοποιείται σε όλα τα επίπεδα του συστήματος. Συγκεκριμένα, έχουν υλοποιηθεί 2 Annotations, τα @Loggable και @EvictCache τα οποία χρησιμοποιούνται για να προστίθενται και να ανανεώνονται οι λανθάνουσες μνήμες του συστήματος. Κάθε συνάρτηση μπορεί να αποθηκεύει τα δεδομένα της λανθάνουσας μνήμης είτε στην κεντρική cache είτε σε μια ειδική μνήμη με ειδικές ρυθμίσεις όπως τον χρόνο ζωής σε αυτή των δεδομένων και την μέθοδο ανανέωσης τους. Ο προσδιορισμός της μνήμης που θα χρησιμοποιηθεί επιλέγεται μέσω της παραμέτρου cacheName κατά τον ορισμό του Annotation. Για τον καθαρισμό και την ανανέωση της λανθά-



Σχήμα 4.6: Διεπαφή Κατασκευής Σημασιολογικών Οντοτήτων σε επίπεδο Συστήματος

νουςας μνήμης χρησιμοποιείται το @EvictCache Annotation το οποίο επίσης δέχεται μια παράμετρο ως όρισμα για τον προσδιορισμό της μνήμης που θα διαγραφεί. Για τον καθορισμό περισσότερων των μνημών δίνονται ως όρισμα μια χωρισμένη με κόμματα λίστα με τις μνήμες προς ανανέωση, ενώ για τον καθαρισμό όλης της λανθάνουσας μνήμης δεν απαιτείται κανένα όρισμα. Οι παράμετροι της λειτουργίας κάθε λανθάνουσας μνήμης δηλώνονται σε ένα αρχείο ehcache.xml σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Ehcache⁴ και περιέχει λεπτομέρειες όπως το μέγεθος, τον τρόπο ανανέωσης (LRU,FIFO) και τον χρόνο ζωής των δεδομένων σε αυτή.

⁴<http://ehcache.org/>

5. Εφαρμογές Χρηστών και Παρουσίαση Δεδομένων

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί με χρήση του συστήματος Überdust. Η υλοποίηση των εφαρμογών έγινε σε διαφορετικά περιβάλλοντα και με χρήση διαφορετικών γλωσσών προγραμματισμού και περιβαλλόντων ανάπτυξης όπως Windows SDK, Android SDK και μικρο-εφαρμογές για Web Browsers. Η χρήση τόσων διαφορετικών προγραμματιστικών μεθόδων αποδεικνύει την ευκολία που προσφέρει η χρήση των τεχνολογιών που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για την ανάπτυξη των εφαρμογών αλλά και τον συνδυασμό των πληροφοριών από διαφορετικές πηγές και υπηρεσίες.

5.1 Εφαρμογές Αυτοματισμών

Βασική εφαρμογή του συστήματος που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους αποτελεί η ανάπτυξη ενός εύχρηστου περιβάλλοντος υλοποίησης εφαρμογών αυτοματισμών για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας τόσο στο οικιακό όσο και στο εργασιακό περιβάλλον. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έγινε η ανάπτυξη μιας σειράς εφαρμογών πάνω σε ένα βασικό κορμό ενεργειών και μεθόδων που προσφέρουν συνδυασμό δεδομένων από πολλαπλές πηγές όπως τις προτιμήσεις των χρηστών, την πρόβλεψη των καιρικών φαινομένων αλλά και την αλληλεπίδραση με το υπάρχον δίκτυο συσκευών του κτιρίου. Συγκεκριμένα η εφαρμογή που αναπτύχθηκε λειτουργεί με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους που εφαρμόζονται πάνω στο εκάστοτε αντικείμενο του ενδιαφέροντος (χώρο εργασίας, δωμάτιο, κτίριο) και ρυθμίζει την λειτουργία των συσκευών σε αυτό. Περισσότερες πληροφορίες και ανάλυση του τρόπου λειτουργίας της αναφέρονται στο [2] και στις επόμενες παραγράφους.

5.1.1 Συνδεσιμότητα

Για την επικοινωνία με τις συσκευές του δικτύου αισθητήρων γίνεται χρήση και των 2 διεπαφών που προσφέρονται από το Überdust. Με χρήση της REST διεπαφής γίνεται άντληση δεδομένων για την τρέχουσα κατάσταση του αντικείμενου του ενδιαφέροντος αλλά και των δυνατοτήτων που αυτό προσφέρει. Ακόμη γίνεται χρήση της WebSocket διεπαφής για την συνεχή ροή πληροφοριών από το δίκτυο προς την εφαρμογή.

Επίσης, για την άντληση πληροφοριών για εξωτερικές πληροφορίες όπως τις καιρικές συνθήκες αλλά και τις προτιμήσεις των χρηστών γίνεται χρήση αντίστοιχων υπηρεσιών όπως του wunderground¹ και μιας υπηρεσίας διαχείρισης προτιμήσεων που αναπτύχθηκε στο ίδιο διάστημα από τον Σπύρο Λιβαθινό στα πλαίσια της δικής του μεταπτυχιακής εργασίας. Και οι 2 εφαρμογές προσφέρουν RESTful διεπαφές για την άντληση ή αποστολή των δεδομένων κάνοντας εξαιρετικά εύκολη την διασύνδεση τους στο σύστημα.

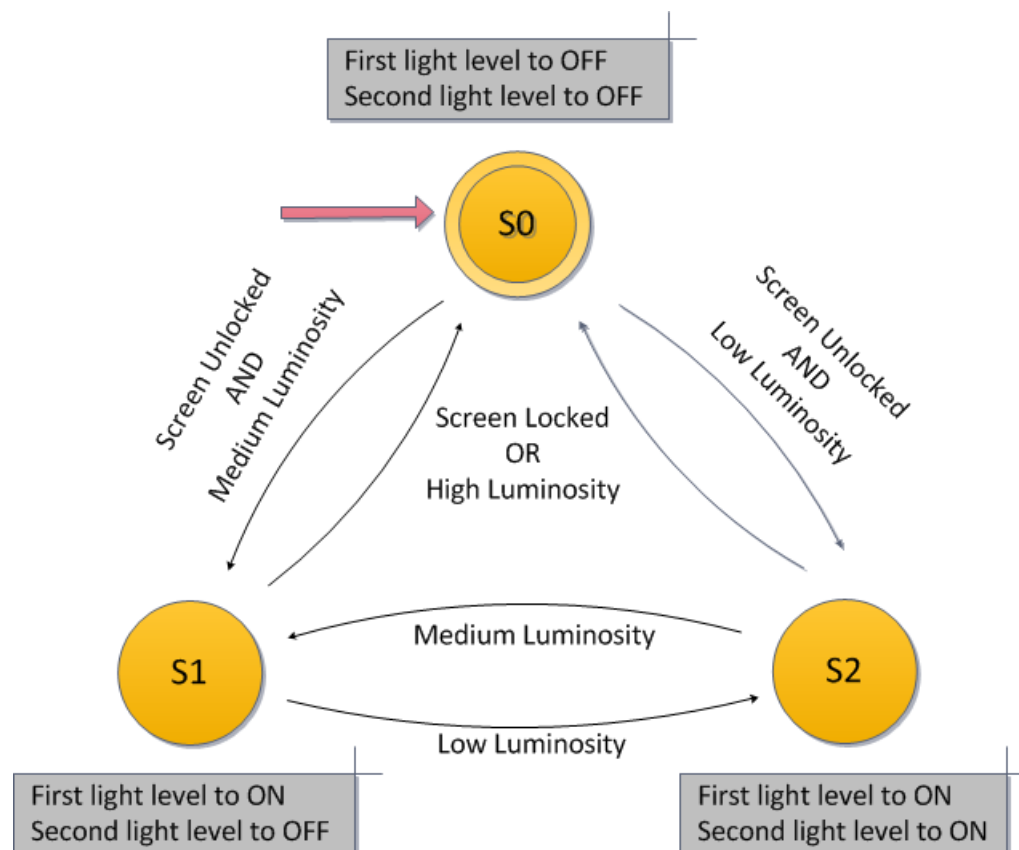
Πιο συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό των καιρικών συνθηκών και προβλέψεων απαιτείται η χρήση ενός κωδικού της περιοχής που εξετάζεται και μπορεί να προσδιοριστεί είτε με χρήση των απόλυτων συντεταγμένων είτε με χρήση της ονομαστικής διεύθυνσης. Επίσης, με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα χρήσης της υπηρεσίας σε συνδυασμό με μία συσκευή GPS για την ενσωμάτωση σε κινούμενα συστήματα και εφαρμογές.

Η εφαρμογή διαχείρισης προτιμήσεων λειτουργεί με βάση τα αντικείμενα του ενδιαφέροντος στα οποία έχουν δικαιώματα έλεγχου οι χρήστες του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει η δυνατότητα ένας οποιοσδήποτε αριθμός χρηστών να εκδηλώσει τις προτιμήσεις του για τον τρόπο φωτισμού αλλά και λειτουργίας μιας θέσης εργασίας ή ενός γραφείου και στην συνέχεια το σύστημα να προσδιορίσει την πραγματική κατάσταση που ενθυμείται στον χώρο αυτό αφού σταθμίσει αντίστοιχα τις απαιτήσεις και τα δικαιώματα που υπάρχουν πάνω σε αυτό το αντικείμενο ενδιαφέροντος.

5.1.2 Δομή Εφαρμογών

Η βασική δομή της εφαρμογής του συστήματος αυτοματισμού στηρίζεται στην χρήση Πληροφοριών για τις απαιτήσεις του χρήστη μέσω ενός διαγράμματος ροής 5.1 το οποίο μεταφράζεται σε επιλογές και λειτουργίες που εκτελούνται όταν επιβεβαιώνονται συγκεκριμένες συνθήκες. Το αντικείμενο του ενδιαφέροντος αλλά και το προφίλ λειτουργίας που προσδιορίζεται για την εκτέλεση της εφαρμογής προσδιορίζουν την τελική λειτουργία που επιτυγχάνεται. Τα προφίλ λειτουργίας καθορίζονται με βάση τις προτιμήσεις που έχουν δοθεί από τους χρήστες και ανανεώνονται με την όποια αλλαγή δηλωθεί είτε στο σύστημα προτιμήσεων είτε στα δικαιώματα των ίδιων των χρηστών.

¹<http://www.wunderground.com>



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής εφαρμογής αυτοματισμού πάγκου εργασίας.

5.2 Mobile Εφαρμογές

Οι εφαρμογές κινητών συσκευών προορίζονται για χρήση κατά την κίνηση μέσα στον χώρο όπου βρίσκονται εγκατεστημένες οι συσκευές. Συγκεκριμένα, στόχος της εφαρμογής για έξυπνα κινητά τηλέφωνα είναι να αναγνωριστεί η συσκευή η οποία βρίσκεται κοντά στην συσκευή και στην συνέχεια να δοθεί στο χρήστη να αλληλεπιδράσει εύκολα και άμεσα με αυτή. Η αναγνώριση των συσκευών γίνεται με 2 τρόπους:

- QR κωδικούς που έχουν τοποθετηθεί στις συσκευές και περιέχουν μια αναφορά στην σημασιολογική περιγραφή της συσκευής.
- NFC ετικέτες που δίνουν αντίστοιχη πληροφορία και προσδιορίζουν την ταυτότητα της συσκευής.

Η επιλογή των 2 αυτών τεχνικών έγινε για την ευκολότερη πλοήγηση των χρηστών στο χώρο και με δεδομένη την αδυναμία της επικοινωνίας των συσκευών με τα έξυπνα τηλέφωνα μέσω ενός κοινού μέσου επικοινωνίας (IEEE



Σχήμα 5.2: QR κωδικός για ανίχνευση συσκευής.

802.15.4 ή WiFi). Πιο συγκεκριμένα στις ετικέτες αποθηκεύεται ένας υπερσύνδεσμος που αντιστοιχεί στην σημασιολογική περιγραφή της συσκευής (πχ. uber dust.cti.gr/rest/testbed/1/node/urn:node:0x9979/rdf/rdf+xml/). Η χρήση του υπερσυνδέσμου επιτρέπει να τροποποιούνται οι πληροφορίες της συσκευής χωρίς να χρειάζεται να γίνει κάποια αλλαγή στις ετικέτες που έχουν εγκατασταθεί. Επίσης, για την χρήση των NFC ετικετών απαιτείται εκτός του υπερσυνδέσμου και ο καθορισμός ενός τύπου δεδομένων της μορφής `application/eu.uber dust`. Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιείται για την αυτόματη εκτέλεση της εφαρμογής μόλις ο χρήστης περάσει στην εμβέλεια μιας ετικέτας που την περιέχει.

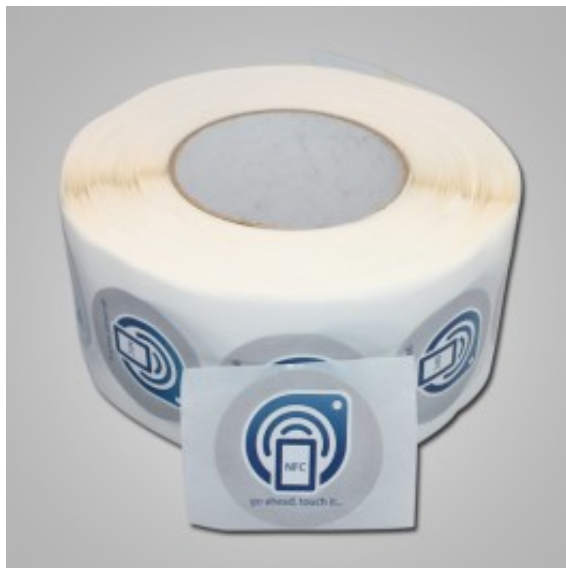
5.2.1 Συνδεσιμότητα

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις για την σύνδεση με το δίκτυο των συσκευών και την αλληλεπίδραση με αυτές γίνεται χρήση του RESTful API.

5.2.2 Δομή Εφαρμογών

Όπως και όλες οι εφαρμογές Android η πλοήγηση γίνεται μέσω οθονών όπου περιγράφονται:

- Η συσκευή η οποία ανιχνεύθηκε,
- οι αισθητήρες τους οποίους περιέχει η συσκευή,
- οι ελεγκτές που είναι διαθέσιμοι και
- οι προτιμήσεις του χρήστη.



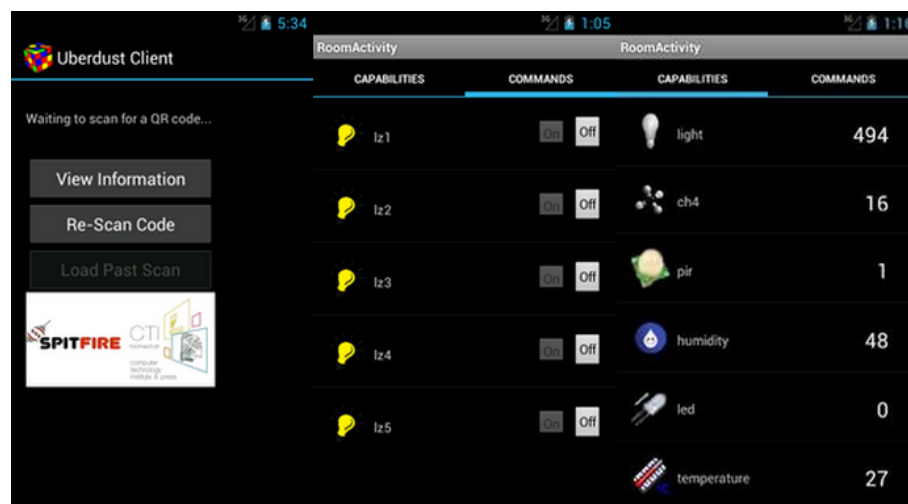
Σχήμα 5.3: NFC ετικέτα για ανίχνευση συσκευής.

Επίσης για τους διαχειριστές του δικτύου η εφαρμογή αυτή δίνει την δυνατότητα να μεταφραστεί ένας QR κωδικός και να γραφτεί μόνιμα σε μια NFC ετικέτα.

5.3 Web Frontend

Η διαδικτυακή πύλη παρουσίασης των δεδομένων που προέρχονται από τους εγκατεστημένους αισθητήρες στις συσκευές του ΙΤΥΕ αλλά και του P-Space έχουν ως στόχο την φιλικότερη προς τους χρήστες παρουσίαση των δεδομένων μέσω μιας εύχρηστης και οικείας διαδικασίας όπως η πλοήγηση σε μια θεματική ιστοσελίδα. Πιο συγκεκριμένα οι και οι 2 ιστοσελίδες έχουν ως στόχο την παροχή τόσο συνδυασμένων πληροφοριών μέσω των σημασιολογικών οντοτήτων του Überdust όσο και του εύκολου χειρισμού των εγκατεστημένων αυτοματισμών για τον φωτισμό ή την διαχείριση συσκευών του κεντρικού πίνακα (π.χ. θερμοσίφωνο). Για την επίτευξη του στόχου αυτού, έχουν υλοποιηθεί διεπαφές που προσφέρουν τα εξής:

- Γραφικές παραστάσεις ιστορικών δεδομένων (π.χ., κατανάλωση την τελευταία μέρα)
- Γραφικές αναπαραστάσεις των τελευταίων μετρήσεων με χρήση κατάλληλων εικόνων (θερμόμετρα, βαρόμετρα, ταχύμετρα).
- Διακόπτες για τον χειρισμό των ελεγκτών των συσκευών.



Σχήμα 5.4: Οθόνες πλοήγησης εφαρμογής έξυπνων κινητών τηλεφώνων Android.

- Συνδυαστικά γραφήματα για την σύγκριση της κατανάλωσης και της παραγωγής ενέργειας σε επίπεδο κτηρίου.

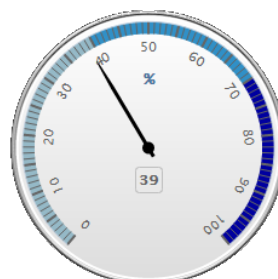
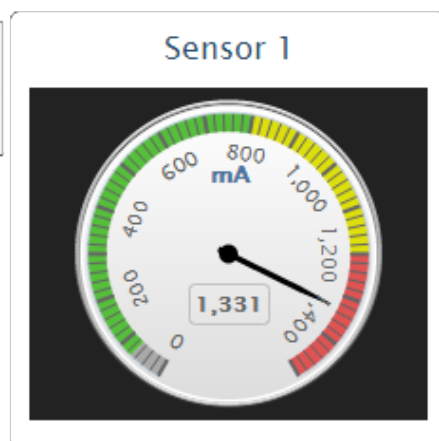
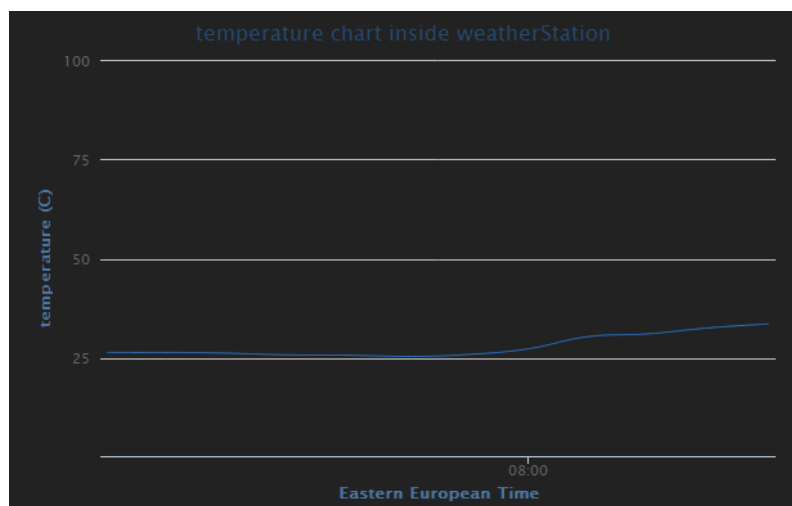
5.3.1 Συνδεσιμότητα

Για την άντληση των δεδομένων από το σύστημα Überdust γίνεται χρήση 2 μεθόδων συλλογής δεδομένων.

- REST , για την άντληση ιστορικών δεδομένων για την κατασκευή γραφημάτων και την λήψη της τελευταίας τιμής από τις συσκευές αλλά και την αποστολή ενεργειών σε αυτές.
- WebSockets , για την αδιάκοπη λήψη των νεότερων μετρήσεων από τις συσκευές και την αποφυγή του polling.

5.3.2 Παρουσίαση Δεδομένων

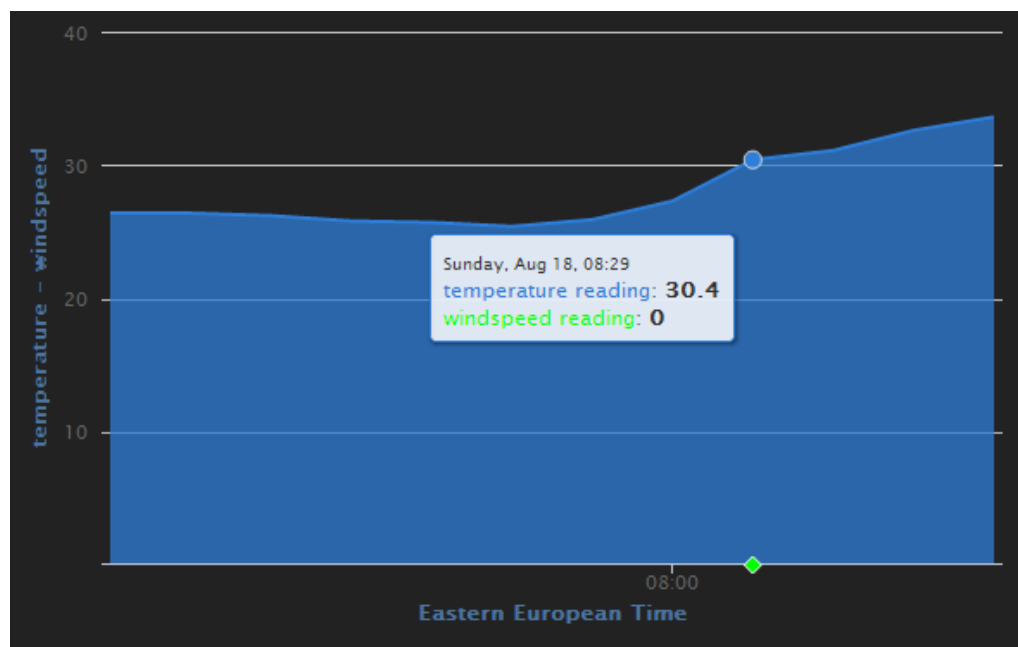
Η παρουσίαση των δεδομένων γίνεται με χρήση της βιβλιοθήκης Highcharts και του συστήματος CMS Drupal για την δημιουργία άρθρων και τον έλεγχο της πρόσβασης στο σύστημα. Επίσης, όλες οι μέθοδοι παρουσίασης γίνονται με χρήση modules της Drupal, για την ευκολότερη παροχή των υλοποιημένων δυνατοτήτων σε 3ους που ενδιαφέρονται για την χρήση αντίστοιχου συστήματος σε δική τους εγκατάσταση.



5.4 Μικρο-εφαρμογές

Ένας αριθμός απο μικρο-εφαρμογές που προσφέρουν τον άμεσο έλεγχο μιας ή περισσότερων συσκευών έχουν επίσης αναπτυχθεί με χρήση διαφόρων προγραμματιστικών εργαλείων όπως τα SDKs για κατασκευή επεκτάσεων για φυλλομετρητές, Windows 8.1 και την υπηρεσία Microsoft On{x} που προσφέρει την δυνατότητα να εκτελούνται κομμάτια κώδικα γραμμένα σε Javascript με χρήση ερεθισμάτων από έξυπνα κινητά τηλέφωνα βασισμένα στο λειτουργικό σύστημα Android. Το σημαντικό στοιχείο το οποίο γίνεται εμφανές από τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας των μικρο-εφαρμογών αυτών είναι η ευκολία της αλληλεπίδρασης με το Überdust παρά τις διαφορές που εμφανίζουν οι πλατφόρμες αυτές αλλά την δυνατότητα άμεσης διασύνδεσης με άλλες εξωτερικές εφαρμογές χάρη στην διαδικτυακή διεπαφή που προσφέρεται.

Συγκεκριμένα, για την υλοποίηση τόσο της επέκτασης για τον Google

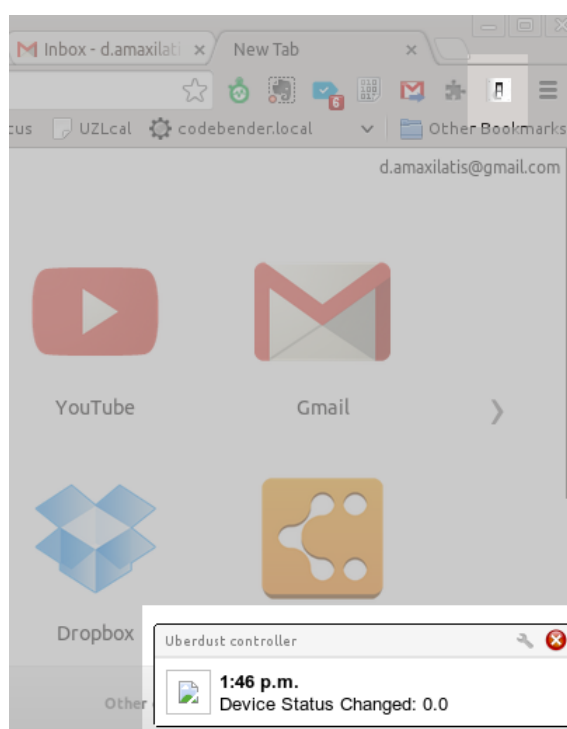


Chrome² όσο και για την εφαρμογή που αναπτύχθηκε για Windows Store παρατηρούμε ότι η υλοποίησή τους έγινε με χρήση τεχνολογιών όπως JavaScript και HTML5 καθώς και της βιβλιοθήκης jQuery³ για την αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα της εφαρμογής. Και οι 2 εφαρμογές προσφέρουν την δυνατότητα στους χρήστες του συστήματος να αναζητήσουν την συσκευή ή την οντότητα που επιθυμούν να χειριστούν ή να παρακολουθήσουν και στην συνέχεια με κατάλληλης διεπαφής όπως αυτές που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάζει την μετρήσεις που παρέχουν οι συσκευές. Για τον σκοπό αυτό γίνεται χρήση της τεχνολογίας WebSocket με αποτέλεσμα η εφαρμογή να εγγράφεται ως παρατηρητής για να λαμβάνει ενημερώσεις από το Überdust για αλλαγές στην κατάσταση του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Παραδείγματα της λειτουργίας των εφαρμογών εμφανίζονται στο Σχήμα 5.5.

Η πλατφόρμα On{x} προσφέρει την δυνατότητα δημιουργίας ρουτινών που εκτελούνται ως αποτέλεσμα ενεργειών και συμβάντων στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη της εφαρμογής. Τέτοια συμβάντα μπορούν να προέρχονται από ένα μεγάλο αριθμό ερεθισμάτων όπως η μεταβολή της θέσης του τηλεφώνου, κάποια εισερχόμενη κλήση ή ακόμη και μια μεταβολή στις καιρικές συνθήκες. Σε κάθε ένα από αυτά τα συμβάντα υπάρχει η δυνατότητα να προστεθεί ένα κομμάτι κώδικα Javascript με χρήση κατάλληλου API να έχει πρόσβαση είτε στις δυνατότητες του ίδιου του τηλεφώνου είτε να αλληλεπιδράσει με μια εξωτερική εφαρμογή. Ως μέρος της διπλωματικής αυτής υλοποιήθηκαν "συ-

²<http://tinyurl.com/qdw5wyb>

³<http://jquery.com/>



Σχήμα 5.5: Επέκταση Google Chrome και Εφαρμογή για Windows 8

νταγές” (όπως χαρακτηριστικά αποκαλούνται οι εφαρμογές στην πλατφόρμα αυτή) για την αλληλεπίδραση με την θέσεις εργασίας, ανοίγοντας και κλείνοντας αντίστοιχα τα φώτα και τον εξοπλισμό του γραφείου όταν ο χρήστης πλησιάζει στην θέση εργασίας του.

Μέρος III

Αξιολόγηση και Συμπεράσματα

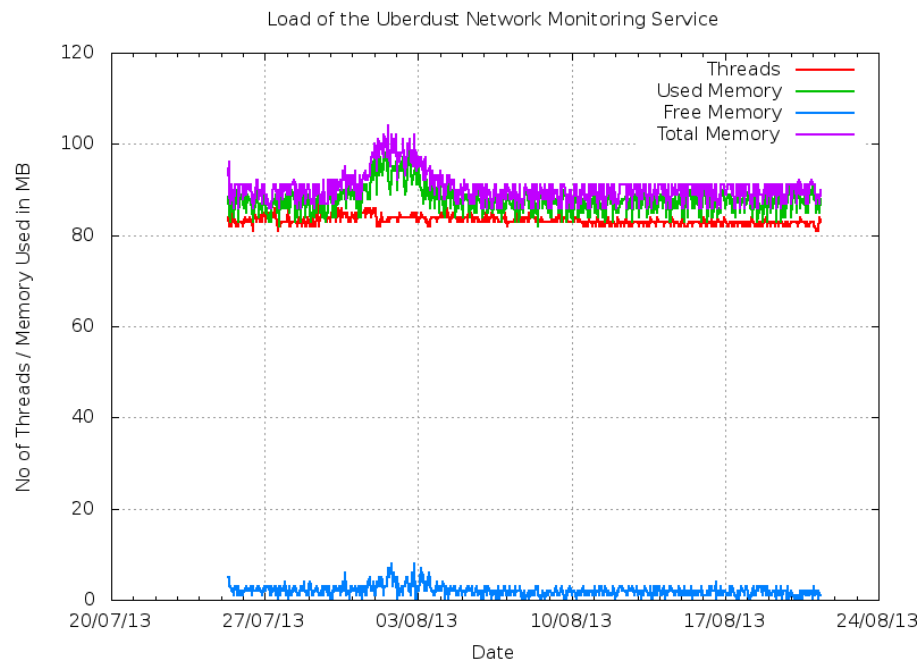
6. Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση της λειτουργίας του Überdust συλλέχθηκαν δεδομένα για την λειτουργία της εφαρμογής στην διάρκεια του τελευταίου χρόνου κατά τον οποία το όλο σύστημα βρισκόταν σε λειτουργία στο ΙΤΥΕ. Συγκεκριμένα η παρακολούθηση του συστήματος γινόταν με χρήση τόσο εξωτερικών εργαλείων (uptime robot, google analytics, logentries και newrelic) όσο και με την χρήση δεδομένων για την κατανάλωση μνήμης και επεξεργαστή μέσω ειδικών εφαρμογών αξιολόγησης που υλοποιήσαμε για να παρακολουθήσουμε την συγκεκριμένα τμήματα της λειτουργίας του συστήματος.

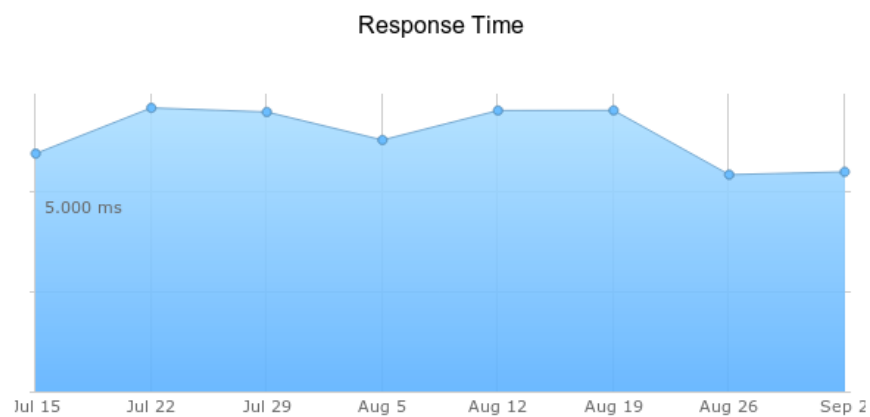
Το Überdust βρίσκεται εγκατεστημένο σε μια εικονική μηχανή με χρήση του VMWare Workstation εγκατεστημένο σε σύστημα το οποίο διαθέτει επεξεργαστή Intel Xeon (X3430 @ 2.40GHz), 16GB κύρια μνήμη και SSD σκληρό δίσκο για την ταχύτερη ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων από αυτόν. Η εικονική μηχανή έχει πρόσβαση σε 4 από τους επεξεργαστές και μέχρι 4GB κύρια μνήμη από το σύνολο του συστήματος και χρησιμοποιεί Debian 7.0 (Squeeze) Linux 64-bit και Java 7 (7u25).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1 για την παρακολούθηση του συνόλου των συσκευών που έχουν εγκατασταθεί απαιτούνται κατά λιγότερα από 100MB στην κύρια μνήμη του συστήματος και σε κάθε χρονική στιγμή χρησιμοποιεί λιγότερα από 100 νήματα για να εξυπηρετήσει όλες τις αιτήσεις από τις συσκευές προς αυτό καθώς και τα αιτήματα των χρηστών.

Ακόμη στο Σχήμα 6.2 βλέπουμε το χρόνο απόκρισης του συστήματος σε ερωτήματα τα οποία απαιτούν την εμφάνιση του συνόλου των συσκευών που είναι εγγεγραμμένες στο σύστημα. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα ο χρόνος απόκρισης είναι ιδιαίτερα χαμηλός (5.000ms) καθώς στην αρχική σελίδα που ζητείται ως μέρος της διαδικασίας αξιολόγησης και παρακολούθησης της εφαρμογής γίνεται παρουσίαση του συνόλου των συσκευών που υπάρχουν διαθέσιμες με χρήση των Google Maps στην ακριβή τους θέση πάνω στο χάρτη.



Σχήμα 6.1: Φόρτος λειτουργίας εφαρμογής παρακολούθησης δικτύου αισθητήρων.



Σχήμα 6.2: Χρόνος απόκρισης του συστήματος.

7. Συμπεράσματα

Η διαδικασία της ανάπτυξης του συστήματος Überdust έδειξε την σημασία της στροφή προς τις αποκαλούμενες τεχνολογίες μελλοντικού (Future Internet Technologies) που διευκολύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών που συνδυάζουν την αλληλεπίδραση έξυπνες συσκευές και αντικείμενα. Επίσης όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3.1 είναι ιδιαίτερα δύσκολο να πετύχουμε την συμβατότητα ανάμεσα σε διαφορετικές συσκευές και πρωτόκολλα επικοινωνίας που επιλέγουν να χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές των συσκευών αλλά και την αξία του CoAP το οποίο δίνει σημαντικές λύσεις στα προβλήματα αυτά. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τεχνολογίες όπως το IPv6 είναι ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της ενοποίησης δικτύων αισθητήρων και του διαδικτύου, καθώς προσφέρει την δυνατότητα αμεσότερης επικοινωνίας με τις συσκευές που υπολείπονται σε υπολογιστική ισχύ. Επίσης το χαμηλό κόστος και η ευκολία χρήσης τέτοιων συσκευών (Arduino) δίνει την δυνατότητα σε μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων χωρίς απαραίτητα γνώσεις προγραμματισμού και των συναφών τεχνολογιών. Για τον σκοπό αυτό είναι σημαντικές οι λύσεις τις οποίες υλοποιήσαμε στα πλαίσια του συστήματος Überdust τόσο για τον εύκολο χειρισμό των συσκευών μέσω του αρκετά γνώριμου διαδικτυακού περιβάλλοντος αλλά και στις δυνατότητες που παρέχονται για περισσότερο προχωρημένες λειτουργίες όπως την δημιουργία προγραμμάτων λειτουργίας και εικονικών συσκευών.

Βιβλιογραφία

- [1] Orestis Akribopoulos, Vasileios Georgitzikis, Anastasia Protopapa, and Ioannis Chatzigiannakis. Building a platform-agnostic wireless network of interconnected smart objects. In 15th Panhellenic Conf. on Informatics with international participation, PCI'11.
- [2] Dimakopolos Dimitrios Akribopoulos Orestis, Amaxilatis Dimitrios and Chatzigiannakis Ioannis. Smart energy monitoring and management in large multi-office building environments. PCI 2013, 2013.
- [3] Dimitrios Amaxilatis, Ioannis Chatzigiannakis, Shlomi Dolev, Christos Koninis, Apostolos Pyrgelis, and Paul Spirakis. Adaptive hierarchical network structures for wireless sensor networks. In 3rd ICST International Conference on Ad Hoc Networks, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Inf, September 2011.
- [4] Tobias Baumgartner, Ioannis Chatzigiannakis, Sandor Fekete, Christos Koninis, Alexander Kröller, and Apostolos Pyrgelis. Wiselib: A generic algorithm library for heterogeneous sensor networks. In 7th European Conf. on Wireless Sensor Networks, EWSN'10, pages 162–177.
- [5] Tim Berners-Lee, James Hendler, and Ora Lassila. The semantic web. Scientific American, 284(5):34–43, May 2001.
- [6] C. Bormann and Z. Shelby. Blockwise transfers in CoAP. Internet-Draft, IETF, July 2011. Work in Progress.
- [7] Ioannis Chatzigiannakis, Georgios Mylonas, Panagiotis Kokkinos, Orestis Akribopoulos, Marios Logaras, and Irene Mavrommati. Implementing multiplayer pervasive installations based on mobile sensing devices: Field experience and user evaluation from a public showcase. Journal of Systems and Software, 84(11):1989 – 2004, 2011.
- [8] Shang-Yuan Chen and Jui-Ting Huang. A smart green building: An environmental health control design. Energies, 5(5):1648–1663, 2012.
- [9] I. Fette and A. Melnikov. The WebSocket Protocol. Internet-Protocol, IETF, December 2011.

- [10] Vehbi C Gungor and Gerhard P Hancke. Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(10):4258–4265, 2009.
- [11] Tom Hargreaves, Michael Nye, and Jacquelin Burgess. Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. *Energy Policy*, 38(10), 2010. The socio-economic transition towards a hydrogen economy findings from European research, with regular papers.
- [12] Klaus Hartke. Observing resources in coap. Technical report, IETF Secretariat, Fremont, CA, USA, March 2012.
- [13] Matthias Kovatsch, Simon Mayer, and Benedikt Ostermaier. Moving application logic from the firmware to the cloud: Towards the thin server architecture for the internet of things. In *Proceedings of the 6th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS 2012)*, Palermo, Italy, July 2012.
- [14] Laurent Lefort, Cory Henson, Kerry Taylor, Payam Barnaghi, Michael Compton, Oscar Corcho, Raúl García Castro, John Graybeal, Arthur Herzog, Krzysztof Janowicz, Holger Neuhaus, Andriy Nikolov, and Kevin Page. Semantic sensor network. In Laurent Lefort, Cory Henson, and Kerry Taylor, editors, *W3C Incubator Group*, number June, page 80. W3C, 2011.
- [15] Z. Shelby, K. Hartke, C. Bormann, and B. Frank. Constrained Application Protocol (CoAP). Internet-Draft, IETF, November 2011. Work in Progress.
- [16] Z. Shelby, K. Hartke, C. Bormann, and B. Frank. Constrained Application Protocol (CoAP). Internet-Draft, IETF, November 2011. Work in Progress.
- [17] Feng Shu, Malka N Halgamuge, and Wei Chen. Building automation systems using wireless sensor networks: radio characteristics and energy efficient communication protocols. *Electronic Journal of Structural Engineering*, pages 66–73, 2009.
- [18] Sjak Smulders and Michiel de Nooij. The impact of energy conservation on technology and economic growth. *Resource and Energy Economics*, 25(1):59–79, 2003.
- [19] Linda Steg. Promoting household energy conservation. *Energy Policy*, 36(12), 2008. Foresight Sustainable Energy Management and the Built Environment Project.
- [20] Ms Sunita, Jyoti Malik, and Suman Mor. Comprehensive study of applications of wireless sensor network. *International Journal of Advanced*

-
- Research in Computer Science and Software Engineering, 2(11):56-60, 2012.
- [21] W3C. RDF Vocabulary Description Language. Technical report, W3C, 2008.
- [22] W3C. SPARQL Query Language for RDF. Technical report, W3C, 2008.
- [23] Shelby Zach. Core link format. Technical report, IETF Secretariat, Fremont, CA, USA, June 2011.